



基于比赛最艰难情境下的我国U系列球员 最高负荷特征及其应用研究

Study on the Characteristics of Peak Match Load and Its Application for U Series Players in China in the Worst-Case Scenario

吴放¹,张延安^{2*},水祎舟³,姜哲⁴,房作铭⁵,宋冰⁶
WU Fang¹,ZHANG Ting'an^{2*},SHUI Yizhou³,JIANG Zhe⁴,
FANG Zuoming⁵,SONG Bing⁶

基金项目:

教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJC890019);广东省普通高校青年创新人才项目(2018WQNCX134);中央高校基本科研业务费专项(2021SKTY01)

第一作者简介:

吴放(1988-),男,讲师,博士,主要研究方向为足球运动表现分析、足球运动负荷监控,E-mail:wufangsport@163.com。

*通信作者简介:

张延安(1956-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为足球教学训练理论与方法,E-mail:jq69@foxmail.com。

作者单位:

1. 中国矿业大学(北京),北京100083;
 2. 北京体育大学,北京100084;
 3. 陕西师范大学,陕西西安710119;
 4. 福建师范大学,福建福州350007;
 5. 广东第二师范学院,广东广州510303;
 6. 滁州学院,安徽滁州239000
1. China University of Mining and Technology-Beijing, Beijing 100083, China;
2. Beijing Sport University, Beijing 100084, China;
3. Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China;
4. Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;
5. Guangdong University of Education, Guangzhou 510303, China;
6. Chuzhou University, Chuzhou 239000, China.

摘要:目的:揭示我国U系列球员比赛最高负荷的一般特征和位置特征,探索性地研究运用比赛最高负荷来评估训练负荷的可行性。方法:使用GPS可穿戴设备采集我国U13~U17联赛中85队次743人次的比赛负荷数据,分析Peak-5 min和Average-5 min的负荷特征,以U16国家队2次高负荷专项训练内容为案例,使用比赛负荷为基准评估训练负荷。结果:1)各年龄组球员Peak-5 min的总跑动距离($t=43.6, P<0.01$; $t=78.9, P<0.01$)、高强度跑距离($t=35.0, P<0.01$; $t=55.9, P<0.01$)、高强度跑占比($t=33.3, P<0.01$; $t=59.7, P<0.01$)、高强度跑次数($t=39.8, P<0.01$; $t=59.8, P<0.01$)、%HR_{max}($t=39.4, P<0.01$; $t=69.5, P<0.01$)和TRIMP($t=41.3, P<0.01$; $t=68.9, P<0.01$)均显著高于Average-5 min,平均恢复时间($t=-17.1, P<0.01$; $t=-33.2, P<0.01$)显著低于Average-5 min。2)各年龄组球员Peak-5 min的比赛负荷基本呈现以下位置特征:各位置球员总跑动距离($F=6.1, P<0.01$; $F=26.5, P<0.01$)、高强度跑次数($F=5.5, P<0.01$; $F=11.4, P<0.01$)均显著高于中后卫;边后卫、边前卫和前锋的高强度跑距离($F=6.9, P<0.01$; $F=10.2, P<0.01$)和占比($F=6.8, P<0.01$; $F=8.1, P<0.05$)显著高于中后卫和中前卫;U15~U17中各位置球员的%HR_{max}和TRIMP($F=5.3, P<0.01$)均显著高于中后卫。3)使用Peak-5 min比赛负荷为基准对训练负荷的评估结果显著低于($t=-20.7\sim-226.9, P<0.01$)使用Average-5 min的评估结果。结论:比赛最高负荷较平均负荷更能体现比赛对球员竞技能力的要求,表现为球员需要具备在更短恢复时间内完成更高频率的高强度跑动和无氧心率以上高质量完成各种技战术行为的能力;我国U系列球员比赛最高负荷表现出成人相近的位置特征,但与场均负荷相比,部分位置球员的最高比赛负荷表现出趋同性;使用比赛最高负荷和平均负荷为基准,可以一定程度上评估训练负荷能否满足比赛需求。

关键词: 比赛最高负荷;运动负荷监控;青少年球员;全球定位系统;科学化训练

Abstract: Objective: To reveal the general and positional characteristics of the peak match load of U series soccer players in China, and to evaluate and analyze the training load based on the match load. Methods: the GPS wearable device was used to collect the load data of 85 teams and 743 players in the U13~U17 leagues in China, and the load characteristics of Peak-5 min and Average-5 min were analyzed. The two high-load specific training of the U16 national team were taken as cases, and the training load was evaluated using the match load as the benchmark. Results: 1) The total running distance ($t=43.6, P<0.01$; $t=78.9, P<0.01$), high intensity running distance ($t=35.0, P<0.01$; $t=55.9, P<0.01$), high intensity running proportion ($t=33.3, P<0.01$; $t=59.7, P<0.01$), number of times of high-intensity running ($t=39.8, P<0.01$; $t=59.8, P<0.01$), %HR_{max} ($t=39.4, P<0.01$; $t=69.5, P<0.01$) and TRIMP ($t=41.3, P<0.01$; $t=68.9, P<0.01$) of players of all ages at Peak-5 min were significantly higher than that at Average-5 min. The mean recovery time ($t=-17.1, P<0.01$; $t=-33.2, P<0.01$) at Peak-5 min was significantly lower than that at Average-5 min. 2) The match load of players of all ages at Peak-5 min basic-

ly showed the following position characteristics: The total running distance ($F=6.1, P<0.01; F=26.5, P<0.01$), and number of times of high-intensity running ($F=5.5, P<0.01; F=11.4, P<0.01$) of players of all positions were significantly higher than that of central defender; the high intensity running distance ($F=6.9, P<0.01; F=10.2, P<0.01$) and the proportion ($F=6.8, P<0.01; F=8.1, P<0.05$) of full backs, wide midfielders and forwards were significantly higher than that of central defenders and center midfielders. The %HR_{max} and TRIMP ($F=5.3, P<0.01$) of U15~U17 players in all positions were significantly higher than that of central defender. 3) The evaluation result of training load using Peak-5 min competition load as the benchmark was significantly lower than that using Average-5 min ($t=-20.7\sim-226.9, P<0.01$). Conclusions: Compared with average load of the game, the highest load of the game can better reflect the game requirement for the players' competitive ability, which is shown by the players need to have the ability to complete a higher frequency of high-intensity running within a shorter recovery time and to complete a variety of high-quality technical and tactical behaviors above the anaerobic threshold heart rate; the position characteristics of the highest load of Chinese U series players are similar to that of adults, but compared with the average load, the highest load of players in some positions shows the same; through combining the peak load and the average load in the competition as the benchmark, the training load can be evaluated to meet the demand of competition to a certain extent.

Keywords: peak match load; training load monitoring; teenage players; global positioning system; scientific training

中图分类号:G843 **文献标识码:**A

足球比赛负荷(match load)是球员在比赛中完成各种身体活动对机体施加的外部刺激以及这些刺激对运动员产生的生理、生化等方面的内部应答(刘丹等,2012)。它是揭示项目本质特征、规律的重要途径,设计训练内容的参考依据,也是合理安排训练负荷的出发点和落脚点,因此,对足球比赛负荷不断深入化、精细化的研究是正确理解比赛需求、科学化指导训练实践的重要保障(赵刚等,2015)。

随着全球定位系统(global positioning system, GPS)系统在足球领域的广泛应用,从业人员能更加精准、高效、便捷地量化比赛负荷(Malone et al.,2017)。由于足球比赛中球员95%以上的时间在做无球跑动,所以科研人员常用跑动表现(running performance)相关指标反映比赛外部负荷(external load),用心率(heart rate)相关指标反映比赛内部负荷(internal load)(赵刚等,2017; Akenhead et al.,2016)。研究表明,比赛中,成人球员要奔跑9.5~13.5 km,高强度跑约占8%~10%(Trewin et al.,2017),青少年球员要完成6.0~11.0 km,随年龄增长和比赛时长增加而增多,高强度跑占比在10%左右(Vieira et al.,2019)。球员比赛中的跑动还表现出明显的位置特征,由于活动场区和战术任务不同,不同位置球员的比赛负荷具有显著差异(Trewin et al.,2017)。内部负荷方面,球员比赛中的平均心率为160~180 b/min,平均最大心率百分比为80%~85% HR_{max},其中70%~90% HR_{max}心率区间的运动时间约占比赛时间的65%(Alexandre et al.,2012)。

以往研究能够帮助从业人员对足球比赛负荷产生深入的认识,对专项训练内容的设计、测评手段的研制、运动负荷的监控具有很大的参考价值,但也存在一定局限。

该类研究通常采用场均数据描述比赛负荷,但足球比赛具有间歇性和不确定性特点,比赛负荷的大小随时处于波动中,这种描述方式可能显著低估比赛中某些最艰难情境(worst-case scenario)下的负荷情况(Whitehead et al.,2018)。研究表明,将足球比赛以5 min为单位划分成若干时段,高强度跑距离最多的时段(219 m)较比赛平均时段(121 m)高81%(Mohr et al.,2003),证实这些最艰难情境对球员竞技能力的需求远高于比赛平均水平。基于此,有学者提出,从比赛需求的角度出发,应该对这些时段进行深入研究,揭示比赛中最高负荷的特征和规律,帮助从业者设计更符合足球实战需求的训练内容,提高球员应对比赛最艰难情境的能力(Di et al.,2013)。

有关比赛最高负荷的研究多为针对成年球员,选取的指标主要聚焦外部负荷,鲜见使用比赛负荷评估训练负荷的实证研究(Carling et al.,2019; Whitehead et al.,2018)。基于此,本研究使用GPS运动监控系统采集和分析我国U13~U17岁青少年球员比赛中内、外部负荷的最高负荷数据,揭示青少年球员比赛最高负荷的一般特征和位置特征,探索性地使用比赛最高负荷对两项足球专项训练内容进行负荷评估,旨在帮助从业者在更加全面认识青少年比赛负荷特征和规律的基础上,基于比赛负荷需求,设计训练方案,实施负荷监控,提高我国青少年足球训练的科学化水平。

1 研究对象与方法

1.1 样本与变量

以我国U系列男子足球运动员为测试对象,以方便抽样为原则,对中国足协U系列联赛(U13~U17)正式比

赛中的 85 队次进行监测,总人次为 1 053。根据研究目的,选取至少打满半场的球员(不含守门员)为研究样本($n=743$),其中 U13, $n=118$; U14, $n=107$; U15, $n=204$; U16, $n=194$; U17, $n=120$ 。参考前人研究(房作铭等, 2019; Di Salvo et al., 2007),将比赛位置划分为以下几种:中后卫、边后卫、中前卫、边前卫和前锋(图 1)。

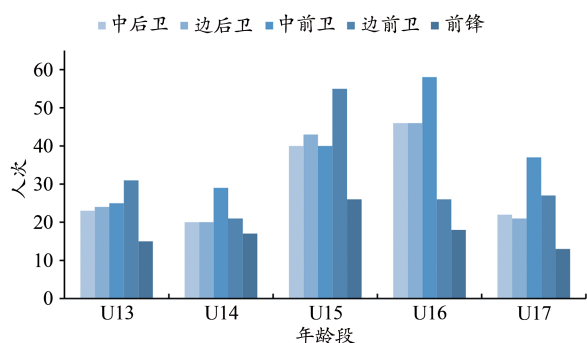


图 1 U13~U17 不同位置球员监测人次分布
Figure 1. Numbers of Players at Different Positions in U13~U17 under Monitor

根据足球比赛负荷构成特点(赵刚等, 2017),选取总跑动距离、高强度跑距离(U13~U14 ≥ 16.5 km/h, U15~U17 ≥ 18 km/h)(吴放, 2018)、高强度跑占比、高强度跑次数及高强度跑平均恢复时间(即高强度跑之间的平均时间间隔,以下简称“平均恢复时间”)作为反映比赛外部负荷的指标,最大心率百分比(%HR_{max})和训练刺激量(TRIMP)(朱那等, 2011; Stagno et al., 2007)作为反映比赛内部负荷的指标。

1.2 研究方法

1.2.1 测试法

1.2.1.1 测试时间与地点

测试时间为 2017 年 4 月 20 日至 5 月 20 日,正值全国青少年男子 U 系列联赛第二阶段。测试地点为各比赛赛区:潍坊赛区、周口赛区、漯河赛区、海门赛区、上海赛区、淄博赛区。

1.2.1.2 仪器与设备

本研究使用 MT-Sports 运动实时监控系统(图 2),包括 GPS 采集单元(10 Hz)、心率采集单元、工作基站及运动背心等部件,已被证明在足球训练及比赛监控中具备较好的信效度(吴放, 2018)。

1.2.1.3 测试程序

比赛前,与教练员沟通,介绍本研究的目的、监控内容、需要队员配合的内容,征得教练员同意后,在球队热身结束后给球员(守门员除外)穿戴监控背心。比赛开始后,启动 MT-Sports 运动实时监控系统,借助平板电脑接收运动员比赛中的跑动以及心率数据。比赛结束后,将系统生成的原始数据文件储存于电脑。



图 2 MT-Sports 运动实时监控系统
Figure 2. MT-Sports Real-Time Monitoring System

1.2.2 案例分析法

1.2.2.1 时间与地点

测试时间为 2017 年 7 月 2—12 日,测试地点为西安某训练基地。

1.2.2.2 分析内容与对象

收集和监控我国 U16 国家队集训中 2 次典型的高负荷专项练习形成的负荷数据。每节训练课均有 30 名队员参与,分析数据时剔除未参加该练习和轮换队员的数据。

1.2.2.3 仪器与设备

MT-Sports 运动实时监控系统。

1.2.2.4 测试程序

训练开始前,给球员(守门员除外)穿戴监控背心,对整堂训练课进行负荷监控,记录不同训练内容的时间节点,后期对训练数据进行剪辑,截取高负荷练习的数据。2 次高负荷专项练习根据教练员的训练计划,分别在不同的训练课上进行,具体安排如下。

1) 4 vs 4+2 GK 两罚球区对抗练习。训练目的:提高球员在防守和体能压力下禁区前组织进攻、创造射门机会并得分的能力;提高球员的专项耐力。组织方式:4 个人为 1 队,在 2 个罚球区 40 m×33 m 的范围内进行 4 vs 4 比赛(图 3 左),每队另有 1 名守门员。共练习 4 组,每组持续时间为 4 min,间歇 3 min。为保障练习强度,使用多球练习,没有封冻场景环节。

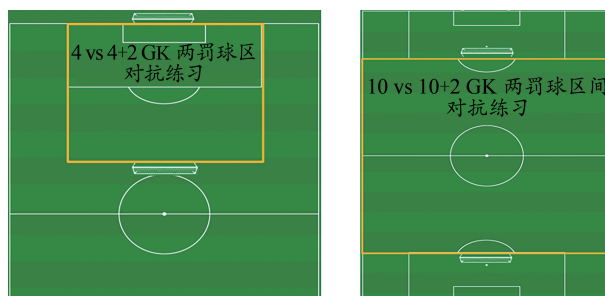


图 3 高负荷专项练习场地安排
Figure 3. Court Arrangement of High Sport Load Special Practice

2) 10 vs 10+2 GK 两罚球区间对抗练习。练习目的: 密集空间中高对抗、高负荷压力下球员技战术的运用能力; 提高球员专项耐力。具体组织方式: 每队有 10 名球员, 在 2 个罚球区 65 m×72 m 的范围内进行 10 vs 10 比赛(图 3 右), 每队另有 1 名守门员。共练习 3 组, 每组持续时间分别为 30 min、30 min、25 min, 间歇 8 min。为保障练习强度, 使用多球练习, 没有封冻场景环节。

1.2.3 数据统计

使用 Microsoft Excel 2016 和 SPSS 20.0 统计软件包对数据进行整理分析, 以 $P < 0.05$ 表示具有显著性差异, $P < 0.01$ 表示具有非常显著性差异。

1) 比赛最高负荷部分。为探究青少年比赛最高负荷的一般特征和位置特征, 参照前人的研究方法(Akenhead et al., 2013; Ramos et al., 2017), 将每名样本球员的比赛时长按照 5 min 为单位剪辑成若干时段, 计算和整理每一时段的比赛负荷数据, 分别用各指标数值最高的时段(Peak-5 min)表示该指标在比赛中的最高负荷时段, 用各指标所有时段的平均值(Average-5 min)表示该指标整场比赛的平均负荷时段。为确保数据的直观性和可比性, 将总跑动距离、高强度跑距离、高强度跑次数和 TRIMP 计算为每分钟的数值进行呈现和分析。采用配对样本 t 检验计算不同时段比赛负荷的差异性, 运用一般线性模型(general linear model)计算不同比赛位置间比赛最高负荷的差异性。数据采用平均值±标准差($M \pm SD$)表示。以 η^2 表示效果量, $\eta^2=0.01 \sim 0.06$ 属于小效果, $\eta^2=0.06 \sim 0.14$ 属于中等效果, $\eta^2 > 0.14$ 属于大的效果(胡竹菁等, 2011; Cohen, 1988)。

2) 案例分析部分。为区分使用最高比赛负荷和场间比赛负荷评估训练负荷的效果差异, 以 U15~U17 年龄组 Peak-5 min 和 Average-5 min 的比赛负荷数据为基准, 对 U16 国家队 2 项高负荷训练内容中每位球员训练负荷相对比赛负荷的占比(%Match)进行计算和分析, 采用配对样本 t 检验对不同基准计算结果的差异性进行检验。

2 研究结果

考虑到青春期球员的生长发育具有连续性和阶段性的特点(王瑞元等, 2012), 不同年龄球员之间的跑动表现可能存在较大波动性(Vieira et al., 2019)。本研究主要依据青少年球员体能水平发展的阶段性特征(吴放等, 2021)和足球训练的阶段性划分(国际足联, 2016), 将 U13~U17 球员划分为两个年龄组进行研究, 即 U13~U14、U15~U17。

2.1 比赛最高负荷的一般特征

外部负荷方面, 各年龄组球员 Peak-5min 的总跑动距离(U13~U14: $t=43.6, P < 0.01$; U15~U17: $t=78.9, P < 0.01$)、高强度跑距离(U13~U14: $t=35.0, P < 0.01$; U15~U17: $t=55.9, P < 0.01$)、高强度跑占比(U13~U14: $t=33.3,$

$P < 0.01$; U15~U17: $t=59.7, P < 0.01$) 和高强度跑次数(U13~U14: $t=39.8, P < 0.01$; U15~U17: $t=59.8, P < 0.01$) 均显著高于 Average-5 min, 平均恢复时间(U13~U14: $t=-17.1, P < 0.01$; U15~U17: $t=-33.2, P < 0.01$) 显著低于 Average-5 min。具体表现为: 总跑动距离方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 31.2%(28.5%, 32.4%); 高强度距离方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 121.7%(106.0%, 130.9%); 高强度跑占比方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 82.9%(68.4%, 91.5%); 高强度跑次数方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 95.6%(81.2%, 104.4%); 平均恢复时间方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均低 51.8%(47.7%, 53.1%)。相比总跑动, Peak-5 min 高强度跑相关指标与 Average-5 min 的差异性更大(表 1)。

表 1 U13~U14、U15~U17 球员 Peak-5 min、Average-5 min 比赛负荷对比

Table 1 Comparison of Match Load of Peak-5 min and Average-5 min between U13~U14 and U15~U17 Players

比赛负荷	负荷指标	U13~U14	U15~U17
外部负荷	总跑动距离/(m·min ⁻¹)		
	Peak-5 min	116.8±10.2**	120.4±14.1**
	Average-5 min	90.0±9.9	91.0±11.7
	高强度跑距离/(m·min ⁻¹)		
	Peak-5 min	22.7±7.5**	18.9±6.5**
	Average-5 min	11.0±4.0	8.2±3.3
	高强度跑占比/%		
	Peak-5 min	20.3±5.7**	17.0±4.6**
	Average-5 min	12.0±4.0	8.9±2.9
	每分钟高强度跑次数/次		
	Peak-5 min	1.6±0.4**	1.3±0.4**
	Average-5 min	0.9±0.3	0.6±0.2
内部负荷	平均恢复时间/s		
	Peak-5 min	41.4±14.8**	51.6±16.6**
	Average-5 min	79.2±45.0	110.0±51.9
	%HR _{max} /%		
	Peak-5 min	91.3±4.4**	89.9±4.7**
	Average-5 min	85.7±5.0	83.6±5.2
TRIMP/(AU·min ⁻¹)			
	Peak-5 min	4.1±0.7**	4.0±0.8**
Average-5 min	3.1±0.7	2.9±0.7	

注:**表示 $P < 0.01$; 下同。

内部负荷方面, 各年龄组球员 Peak-5 min 的 %HR_{max}(U13~U14: $t=39.4, P < 0.01$; U15~U17: $t=69.5, P < 0.01$) 和 TRIMP(U13~U14: $t=41.3, P < 0.01$; U15~U17: $t=68.9, P < 0.01$) 均显著高于 Average-5 min。%HR_{max} 方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 7.2%(6.5%, 7.5%); TRIMP 方面, Peak-5 min 比 Average-5 min 平均高 35.4%(33.2%, 36.5%)(表 1)。

2.2 比赛最高负荷的位置特征

对比 2 个年龄组 (U13~U14、U15~U17) 不同位置球员在 Peak-5 min 的比赛负荷差异 (表 2), 发现不同比赛负

荷指标中, 各年龄段在不同位置间会呈现不同程度 ($\eta^2=0.04\sim 0.17$) 的位置差异, 且在不同年龄组间表现出一定的一致性。

表 2 U13~U14、U15~U17 不同位置球员间 Peak-5 min 的比赛负荷差异
Table 2 The Match Load at Peak-5 min between Different Positions of U13~U14 and U15~U17 Players

	比赛位置					P	F	η^2
	中后卫	边后卫	中前卫	边前卫	前锋			
U13~U14								
总跑动距离/(m·min ⁻¹)	110.9±8.2	116.7±9.7 ^a	119.2±10.5 ^a	119.9±9.5 ^a	115.8±11.3 ^a	<0.01	6.09	0.10
高强度跑距离/(m·min ⁻¹)	19.9±6.7	24.5±7.2 ^{ac}	20.0±7.6	25.8±7.4 ^{ac}	23.3±6.5 ^{ac}	<0.01	6.88	0.11
高强度跑占比/%	18.6±5.6	21.9±5.5 ^{ac}	17.5±5.5	22.5±5.3 ^{ac}	21.2±4.9 ^{ac}	<0.01	8.05	0.13
每分钟高强度跑次数/次	7.0±1.9	8.1±1.9 ^a	7.7±2.2 ^a	8.9±2.0 ^{acc}	7.7±2.4 ^a	<0.01	5.45	0.09
平均恢复时间/s	46.5±13.7 ^d	39.6±12.4	44.0±20.5 ^d	35.4±7.7	42.5±13.3	<0.01	4.34	0.07
%HR _{max} /%	89.8±5.2	90.9±4.3	91.9±4.6	92.2±3.7	91.6±3.8	>0.05	2.23	0.04
TRIMP/(AU·min ⁻¹)	3.8±0.8	4.0±0.8	4.2±0.8	4.3±0.6	4.1±0.6	>0.05	2.33	0.04
U15~U17								
总跑动距离/(m·min ⁻¹)	110.7±13.6	119.3±11.8 ^a	126.9±11.9 ^{abc}	124.1±13.1 ^a	119.0±15 ^a	<0.01	26.55	0.17
高强度跑距离/(m·min ⁻¹)	15.7±5.5	20.1±6.5 ^a	18.9±6.4 ^a	20.6±7.1 ^{ac}	19.5±5.3 ^a	<0.01	10.18	0.07
高强度跑占比/%	15.4±4.3	18.3±4.3 ^{ac}	16.3±4.9	17.6±4.7 ^{ac}	17.4±3.9 ^{ac}	<0.01	6.75	0.05
每分钟高强度跑次数/次	5.4±1.7	6.7±1.8 ^a	6.4±1.9 ^a	6.7±1.8 ^a	6.8±1.6 ^a	<0.01	11.39	0.08
平均恢复时间/s	61.4±19.0 ^{bcd}	48.2±15.8	51.1±16.2	48.6±14.2	46.8±10.4	<0.01	13.85	0.10
%HR _{max} /%	88.3±5.2	89.6±4.7 ^a	90.7±4.6 ^a	90.6±3.9 ^a	90.5±4.7 ^a	<0.01	5.31	0.04
TRIMP/(AU·min ⁻¹)	3.7±0.8	3.9±0.7 ^a	4.1±0.8 ^a	4.0±0.7 ^a	4.1±0.8 ^a	<0.01	5.31	0.04

注: 字母表示显著高于该位置, 其中 a 代表中后卫, b 代表边后卫, c 代表中前卫, d 代表边前卫, e 代表前锋。

外部负荷方面, 总跑动距离上, 均表现为边后卫、中前卫、边前卫和前锋显著高于中后卫 ($F=6.09\sim 26.55, P<0.01, \eta^2=0.10\sim 0.17$); 高强度跑距离上, U13~U14 基本表现为边前卫、边后卫和前锋显著高于中后卫和中前卫 ($F=6.88, P<0.01, \eta^2=0.11$), U15~U17 的中后卫显著低于其他位置 ($F=10.18, P<0.01, \eta^2=0.07$); 高强度跑占比上, 均表现为边后卫、边前卫和前锋显著高于中后卫、中前卫 ($F=6.75\sim 8.05, P<0.01, \eta^2=0.05\sim 0.13$); 高强度跑次数上, 均表现为中后卫显著低于其他位置 ($F=5.45\sim 11.39, P<0.01, \eta^2=0.08\sim 0.09$); 平均恢复时间上, U13~U14 表现为边后卫、边前卫和前锋显著低于中后卫和中前卫 ($F=4.34, P<0.01, \eta^2=0.07$), U15~U17 表现为中后卫显著高于其他位置 ($F=13.85, P<0.01, \eta^2=0.10$)。

内部负荷方面, U13~U14 年龄组各位置间无显著性差异; U15~U17 年龄组的 %HR_{max} 和 TIMP 均表现为中后卫显著低于其他年龄段 ($F=5.31, P<0.01, \eta^2=0.04$)。

2.3 比赛最高负荷在训练中的应用

2.3.1 专项练习的训练负荷

由于两项练习的场地大小、参与人数、持续时间、间歇时间等因素均不相同, 故其负荷大小和构成并不相同 (表 3)。相比 10 vs 10+2 GK 练习, 4 vs 4+2 GK 练习具有相对较低的外部负荷和较高的内部负荷。

表 3 高负荷专项练习内容训练负荷

Table 3 Training Load of High Sport Load Special Practice

练习内容	4 vs 4+2 GK	10 vs 10+2 GK
总跑动距离/(m·min ⁻¹)	102.9±10.5	109.3±9.9
高强度跑距离/(m·min ⁻¹)	4.9±1.1	16.7±6.1
高强度跑占比/%	4.8±1.2	15.4±5.2
%HR _{max} /%	88.9±2.0	80.2±4.9
TRIMP/(AU·min ⁻¹)	4.3±0.5	2.7±0.6

2.3.2 训练负荷评估

选取总跑动距离、高强度跑距离、高强度跑占比、TRIMP、%HR_{max} 5 项负荷指标, 分别以 U15~U17 年龄组比赛中的 Peak-5 min 比赛负荷 (总跑动距离: 120.4 m/min, 高强度跑距离: 18.9 m/min, 高强度跑占比: 17.0%, TRIMP: 4.0 AU/min, %HR_{max}: 89.9%) 和 Average-5 min 比赛负荷 (总跑动距离: 91.0 m/min, 高强度跑距离: 8.2 m/min, 高强度跑占比: 8.9%, TRIMP: 2.9 AU/min, %HR_{max}: 83.6%) 为基准, 对 U16 国家队 2 次专项高负荷练习的训练负荷进行评估计算。

4 vs 4+2 GK 两罚球区对抗练习中 (图 4), 使用 Peak-5 min 和 Average-5 min 的比赛负荷为基准对该练习负荷进行评估时, 各项指标的评估结果均呈现显著性差异 ($t=-20.7\sim -226.9, P<0.01$)。使用 Peak-5 min 比赛负荷为

基准时,仅有 TRIMP 达到比赛负荷水平;使用 Average-5 min 比赛负荷为基准时,总跑动距离、TRIMP 和 %HR_{max} 3 项指标达到比赛负荷水平。

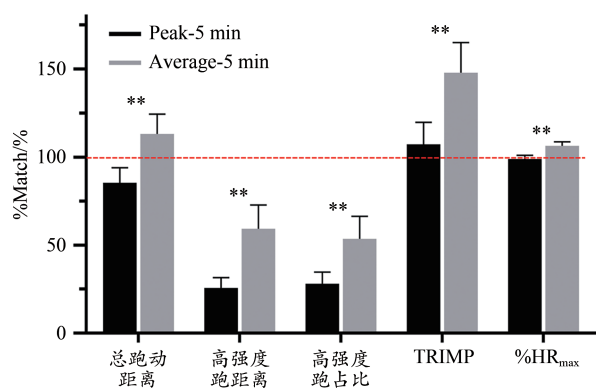


图4 不同基准对4 vs 4+2 GK两罚球区对抗练习的负荷评估
Figure 4. The Load Evaluation of 4 vs 4+2 GK of Shooting Practice at Two Penalty Areas by Different Benchmarks

10 vs 10+2 GK 两罚球区间对抗练习中(图5),使用 Peak-5 min 和 Average-5 min 的比赛负荷为基准对该训练负荷进行评估时,各项指标的评估结果均存在显著性差异($t=-22.4\sim-129.3, P<0.01$)。使用 Peak-5 min 比赛负荷为基准时,所有指标均未达到比赛负荷水平;使用 Average-5 min 比赛负荷为基准时,总跑动距离、高强度跑距离和高强度跑占比达到比赛负荷水平。

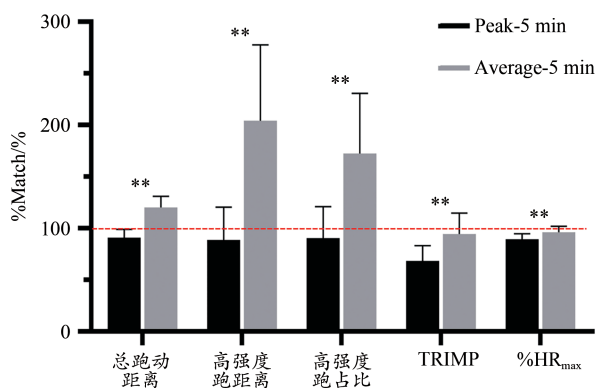


图5 不同基准对10 vs 10+2 GK两罚球区间对抗练习的负荷评估
Figure 5. The Load Evaluation of 10 vs 10+2 GK Practice between Two Penalty Areas by Different Benchmarks

3 讨论

3.1 比赛最高负荷的一般特征

研究表明,成人男子球员(Bradley et al., 2010; Di et al., 2013; Sparks et al., 2016)和女子球员(Ramos et al., 2017)Peak-5 min 的比赛负荷均显著高于 Average-5 min。本研究将 U13~U17 多年龄段青少年球员纳入分析对象,结果表明,各年龄组球员无论是跑动距离还是高强度跑相关指标均表现出该基本特征。这是对以往研究成果的

补充,也再次验证足球比赛负荷受各种不确定因素影响总是处于强烈的波动之中(Fransson et al., 2017)。使用比赛平均负荷可能会显著低估最艰难情境的负荷需求(Whitehead et al., 2018)。

在比赛最高负荷方面,青少年球员与成人球员存在一定的差异。外部负荷方面,U23 球员 Peak-5 min 的跑动距离在 $130\sim 135\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Doncaster et al., 2019),成人球员为 $128\sim 137\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Bradley et al., 2014; Di et al., 2013),青少年球员则为 $116\sim 120\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,可见其低于高年龄段和成人球员。同样的现象也体现在高强度跑动的各项指标中。尽管不同研究对高强度跑的速度阈值界定不同,但可以进行大致对比,英超球员比赛 Peak-5 min 的高强度跑($\geq 19.8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)距离为 $22\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,欧冠球员($\geq 15\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)为 $39\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,本研究则表明,U13~U14($\geq 16.5\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)为 $22.7\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,U15~U17($\geq 18\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)为 $18.9\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,明显低于成人球员。高强度跑动与比赛中的关键行为有关(姜哲等,2018;吴放等,2017),属于无氧代谢为主的跑动,其占比一定程度上可以反映在比赛该阶段中球员的能量代谢情况。研究表明,青少年球员 Peak-5 min 的高强度跑占比为 $17.0\sim 20.3\%$, $1.3\sim 1.6$ 次/min,平均恢复时间为 $41.4\sim 51.6\text{ s}$,而成人球员 Peak-5 min 的高强度跑($\geq 19.8\text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$)占比为 $15.1\sim 18.6\%$, $1.3\sim 2.3$ 次/min,平均恢复时间为 $28.6\sim 44.8\text{ s}$ (Di et al., 2013)。可见,高强度跑占比方面,青少年球员略高于成人球员,但平均恢复时间上,成人球员明显短于青少年球员。这说明高水平的足球比赛需要球员具备更强的短时恢复能力,成人球员具备更成熟的心血管系统和更好的最大有氧能力(王瑞元,等,2012)。所以,他们的平均恢复时间更短。综上,高强度跑动相关指标在 Peak-5 min 时段的特征表明,该阶段无氧代谢占比较高(Fransson et al., 2017),球员需要在更短的恢复时间内完成更多的高强度跑动。所以,在适龄阶段,应提高青少年球员的最大有氧能力,如有氧功(aerobic power)和最大有氧功(maximum aerobic power)(姜哲,2018),改善球员反复高强度跑的能力,以满足比赛最高负荷时段的需求。

本研究将内部负荷指标纳入比赛最高负荷的分析范畴,指出青少年球员 Peak-5 min 的 %HR_{max} 为 $89.9\%\sim 91.3\%$,较比赛平均值高 7.2% ; TRIMP 为 $4.0\sim 4.1\text{ AU}\cdot\text{min}^{-1}$,较比赛平均值高 35.4% 。这表明该负荷阶段对青少年球员的心肺机能水平要求很高,所有的技战术行为是在极高的心率状态下完成的。利用场地测试,使用线性回归计算方法研究巴西青少年球员的无氧阈强度,表明 $85\%\text{HR}_{\text{max}}$ 为无氧阈心率(Coelho, 2005)。本研究再次表明,青少年球员在比赛最高负荷阶段的无氧代谢占比较高,可能导致球员乳酸堆积,影响技战术的发挥(Alexandre et al., 2012)。比赛内部负荷特征表明,提高在高心率状态下高

质量完成技战术的能力以及发展可以快速消除乳酸积累的最大有氧能力,对提高青少年球员应对比赛最高负荷水平至关重要。

3.2 比赛最高负荷的位置特征

不同位置的球员,一方面在进攻、防守和攻守转换时需要完成不同的战术任务;另一方面,受主要活动场区的限制,在两种因素作用下,比赛负荷表现出典型的位置特征。这在使用场均数据的研究中已被广泛验证(房作铭等,2019; Di Salvo et al., 2007; Trewin et al., 2017)。本研究提取青少年球员比赛中的最高负荷数据进行分析,也表明存在一定的位置特征。

不同年龄组之间,外部负荷基本表现出相同的位置特征。总跑动距离方面,中后卫显著低于其他位置球员,其他位置间的球员表现出无规律性的差异;高强度跑各项指标方面,基本表现出边前卫、边后卫和前锋高于中后卫和中前卫,且中后卫最低的现象。这与已有研究相似。一项对 U15~U17 球员最高比赛负荷的研究表明,中后卫的跑动距离显著低于其他位置,边前卫、边后卫和前锋需要完成更多的高强度跑(Duthie et al., 2018)。对成人职业球员的研究发现,中后卫在 Peak-5 min 的总跑动距离显著低于其他位置球员,边前卫的跑动距离最高,可达 $138\sim 145\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ (Delaney et al., 2018; Di et al., 2013)。出现这种位置特征,可能是由于中后卫的主要战术任务是防守门前关键区域,限制其跑动表现(Bangsbo et al., 2006);中前卫主要在中路人员最密集的场区活动,不具备高强度跑动的充足空间;边前卫、边后卫既需要全面参与球队的进攻和防守,又具备充足的跑动空间,故能完成较多的高强度跑。内部负荷方面,U15~U17 年龄组表现出中后卫的 %HR_{max} 和 TRIMP 均显著低于其他位置球员,这与外部负荷呈现出大体的一致性,主要是外部负荷和内部负荷的因果关系造成的(赵刚等,2017; Torreño et al., 2016)。

值得注意的是,虽然 Peak-5 min 的比赛负荷也呈现出一定的位置特征,但与场均数据表现的位置特征存在一定的差异性,即两阶段负荷均表现出中后卫的总跑动距离最低,中后卫、中前卫的高强度跑距离最低,但场均负荷数据表现出更加丰富的差异性。如总跑动距离方面,中前卫>边前卫>边后卫>前锋>中后卫,而 Peak-5 min 除中后卫外,其他位置间没有规律地体现出这种显著性差异,说明其他位置球员在比赛最激烈的时段,其负荷需求类似,提示,进行专项位置训练时,对球员位置的分组要结合训练目的,如果盲目基于场均数据分组,可能造成部分位置球员的训练负荷不能满足比赛最高负荷的需求。

3.3 比赛最高负荷对训练负荷的评估

训练中,从业人员会使用 GPS 监控设备采集和分析训练负荷数据,衡量某练习内容能否或在多大程度上满足比赛负荷需求。常使用比赛平均负荷为参照或基准

(%Match)对训练负荷进行评估(Luteberget et al., 2018; Owen et al., 2017)。由于比赛中存在某些最艰难情境,所以仅使用场均负荷可能会高估某些训练对比赛负荷的满足程度(Whitehead et al., 2018)。为探究如何使用比赛最高负荷和平均负荷为基准评估训练负荷的差异性和运用比赛最高负荷对训练负荷进行评估分析,本研究探索性地选取足球训练中较为常用的高负荷专项练习,分别使用 Peak-5 min 和 Average-5 min 的比赛负荷为基准对其进行评估。研究表明,反映训练负荷的各项指标中,使用比赛 Peak-5 min 的评估结果均显著低于 Average-5 min,说明两种评估方式具有较大差别。

在 4 vs 4+2 GK 的对抗练习中,外部负荷方面,仅有跑动距离达到比赛平均水平(113%),高强度跑距离和占比既没有达到平均比赛水平(59%, 54%),更没有达到比赛 Peak-5 min 的水平(26%, 28%);内部负荷方面,TRIMP 和 %HR_{max} 均基本达到或超出 Peak-5 min 的比赛水平(107%, 99%),远远超出 Average-5 min 的比赛水平(148%, 106%)。这种现象可用小场地比赛(small-sided games)研究解释,即由于比赛场地相对较小,人数较少,每位球员可能进行更多的短距离冲刺行为,但是绝对速度很难达到高强度跑速度的阈值,所以高强度跑动距离较低;又因人均面积相对较少,对抗更为激烈,技术动作使用频次更多,攻防回合次数增加,所以球员内部负荷较高(陈亮等,2017; Castellano et al., 2013; Olthof et al., 2017)。所以,该练习在外部负荷方面能够达到比赛平均跑动要求,在内部负荷方面能够达到最高负荷时段的负荷要求,可以为球员创造在比赛最高心率状态下完成技战术运用的情境,符合训练目的中在体能压力下提高技战术能力的要求。并且,其对球员的心肺机能具有较强的刺激,属于高强度有氧训练范畴,能有效改善球员的最大摄氧量、乳酸阈速度(Bangsbo, 2015)。但由于高强度跑不足,其在提高球员反复高强度跑动能力方面效果可能并不显著(Eniseler et al., 2017)。

在 10 vs 10+2 GK 的对抗练习中,外部负荷方面,跑动距离分别达到比赛 Peak-5 min 和 Average-5 min 的 91%、120%,高强度跑距离和占比达到比赛 Peak-5 min 的 89%和 90%、Average-5 min 的 204%和 172%;内部负荷方面,TRIMP 和 %HR_{max} 均未达到 Peak-5 min 的比赛水平(68%, 89%),但基本达到 Average-5 min 的比赛水平(94%, 96%)。由于该比赛场地较大,每位球员有更多的空间进行高强度跑动,加之教练员在战术层面要求球员施行高位的压迫以及快速的回追,并在训练中不断地给予语言反馈,所以,该练习中的跑动距离和高强度跑距离均远远超过比赛平均水平。其低于 Peak-5 min 比赛水平,可能是因为练习时间为 30 min,而球员很难在 30 min 中均保持 Peak-5 min 的跑动水平;也可能是疲劳和跑动节奏策略的

缘故(Bradley et al., 2013; Edwards et al., 2009; Waldron et al., 2014)。相对4 vs 4+2 GK练习,10 vs 10+2 GK的对抗练习场地面积更大、人数更多、时间更长,球员有更多的喘息和调整机会,所以内部负荷仅与比赛平均水平持平,未达到Peak-5 min的水平。该练习在外部负荷方面远超过比赛平均水平,接近最高水平的跑动要求,在内部负荷方面能够达到比赛平均水平,表明其能够模拟比赛中反复高强度跑动的负荷要求,但对球员的心肺机能刺激程度一般。

综上所述,采用比赛负荷对训练负荷进行评估时,如果仅选用场均数据,可能会给教练员造成已经完全甚至超额满足比赛负荷需求的假象,出现训练负荷评估偏差,因此,应结合比赛最高负荷数据进行综合评估。需要注意的是,实践中要以训练情境和目标为导向。虽然两项练习的目标均包含提高专项耐力,但分析可见,4 vs 4+2 GK的对抗练习在内部负荷方面能够满足最高比赛负荷的需求,可以让球员在极高心率状态下完成技战术并更好地刺激球员的心肺机能,10 vs 10+2 GK的对抗练习则在外部负荷方面基本满足最高比赛负荷的需求,能在比赛情境下锻炼运动员的反复高强度跑能力。所以,虽然两项练习均满足比赛最高负荷需求,但体现在不同方面,应考虑具体练习情境和目标,结合比赛最高和平均负荷,选取合适的指标来评估训练负荷。

4 结论

1)比赛最高负荷较平均负荷更能体现比赛对球员竞技能力的需要,表现为球员要具备更短恢复时间内完成更高频率的高强度跑动,以及无氧阈心率以上高质量完成各种技战术行为的能力。

2)我国U系列球员的比赛最高负荷表现出与成人相似的位置特征,但与比赛平均负荷相比,未表现出位置差异的多样性,部分位置球员的最高比赛负荷表现出趋同性。

3)实践中要根据练习情境和目标,选取合适的指标,使用比赛最高负荷和平均负荷为基准,可以在一定程度上评估训练负荷能否满足比赛负荷的需求。

5 研究局限

本研究对我国U13~U17岁青少年球员正式比赛中的最高负荷特征进行实证分析,探索性地使用比赛最高负荷对2项足球专项训练进行负荷评估。在Peak-5 min的界定上,主要根据比赛时长进行预先设定的机械划分,可能造成研究低估真实比赛最高负荷的情况,后续研究可尝试采用更加动态、灵活的划分方式得出更加准确的比赛最高负荷。

参考文献:

陈亮,李荣,2017.足球小场地比赛的负荷等级设定与体能训练效

果的Meta分析[J].天津体育学院学报,32(6):520-528.

房作铭,黄竹杭,刘鸿优,2019.中超联赛不同位置球员高强度跑动表现特征[J].体育学刊,26(2):137-144.

国际足联,2016.国际足联执教书[M].北京:人民体育出版社.

胡竹菁,戴海琦,2011.方差分析的统计检验力和效果大小的常用方法比较[J].心理学探新,31(3):254-259.

姜哲,2018.我国16岁男子足球运动员重点竞技能力确定及训练质量评价[D].北京:北京体育大学.

姜哲,黄竹杭,吴放,2018.不同比赛情境下中国足球超级联赛关键跑动表现指标探析[J].中国体育科技,54(1):64-70.

刘丹,部义峰,赵刚,等,2012.足球运动训练与比赛监控的理论及实证[M].北京:人民体育出版社.

王瑞元,苏全生,2012.运动生理学[M].北京:人民体育出版社.

吴放,2018.我国U13~U17岁男子足球运动员比赛负荷特征的实证研究[D].北京:北京体育大学.

吴放,张延安,2017.中超联赛球队跑动表现对比赛胜负的影响[J].中国体育科技,53(3):78-84.

吴放,张延安,姜哲,等,2021.我国U13~U18岁男子足球运动员跑动速度区间的研制[J].中国体育科技,57(4):32-40.

赵刚,陈超,2015.足球比赛表现研究方法和评价指标体系研究[J].体育科学,35(4):72-81.

赵刚,张英成,2017.足球比赛负荷评定范式与量度研究[J].天津体育学院学报,32(2):153-161.

朱那,盛蕾,曹佩江,2011. Trimp在竞技体育训练监控中的应用[J].体育与科学,32(2):81-87.

AKENHEAD R, HAYES P R, THOMPSON K G, et al., 2013. Diminutions of acceleration and deceleration output during professional football match play[J]. J Sci Med Sport, 16(6):556-561.

AKENHEAD R, NASSIS G P, 2016. Training load and player monitoring in high-level football: Current practice and perceptions[J]. Int J Sports Physiol Perform, 11(5):587-593.

ALEXANDRE D, DA S C, HILL-HAAS S, et al., 2012. Heart rate monitoring in soccer: Interest and limits during competitive match play and training, practical application[J]. J Strength Cond Res, 26(10):2890-2906.

BANGSBO J, 2015. Performance in sports-with specific emphasis on the effect of intensified training[J]. Scand J Med Sci Sports, 25: 88-99.

BANGSBO J, MOHR M, KRUSTRUP P, 2006. Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player[J]. J Sports Sci, 24(7):665-674.

BRADLEY P S, DELLAL A, MOHR M, et al., 2014. Gender differences in match performance characteristics of soccer players competing in the UEFA Champions League[J]. Human Movement Sci, 33:159-171.

BRADLEY P S, Di MASCIO M, PEART D, et al., 2010. High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels[J]. J Strength Cond Res, 24(9):2343-2351.

BRADLEY P S, NOAKES T D, 2013. Match running performance fluctuations in elite soccer: Indicative of fatigue, pacing or situational influences?[J]. J Sports Sci, 31(15):582-585.

CARLING C, MCCALL A, HARPER D, et al., 2019. Comment on: "The use of microtechnology to quantify the peak match demands of the football codes: A systematic review"[J]. Sports Med, 49

(2):343-345.

CASTELLANO J, CASAMICHANA D, DELLAL A, 2013. Influence of game format and number of players on heart rate responses and physical demands in small-sided soccer games[J]. *J Strength Cond Res*, 27(5):1295-1303.

COELHO D, 2005. Determination of the Activity's Intensity of Soccer Players during Official Match Play According to the Heart Rate Monitoring[D]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

COHEN J, 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*[M]. New York: Psychology Press.

DELANEY J A, THORNTON H R, ROWELL A E, et al., 2018. Modelling the decrement in running intensity within professional soccer players[J]. *Sci Med Football*, 2(2):86-92.

DI M M, BRADLEY P S, 2013. Evaluation of the most intense high-intensity running period in English FA premier league soccer matches[J]. *J Strength Cond Res*, 27(4):909-915.

DI SALVO V, BARON R, TSCHAN H, et al., 2007. Performance characteristics according to playing position in elite soccer[J]. *Int J Sports Med*, 28(3):222-227.

DONCASTER G, PAGE R, WHITE P, et al., 2019. Analysis of physical demands during youth soccer match-play: Considerations of sampling method and epoch length[J]. *Res Q Exerc Sport*, 91(2): 326-334.

DUTHIE G M, THORNTON H R, DELANEY J A, et al., 2018. Running intensities in elite youth soccer by age and position[J]. *J Strength Cond Res*, 32(10):2918-2924.

EDWARDS A M, NOAKES T D, 2009. Dehydration: Cause of fatigue or sign of pacing in elite soccer?[J]. *Sports Med*, 39(1):1-13.

ENISELER N, ŞAHAN Ç, ÖZCAN I, et al., 2017. High-intensity small-sided games versus repeated sprint training in junior soccer players[J]. *J Human Kinet*, 60(1):101-111.

FRANSSON D, KRUSTRUP P, MOHR M, et al., 2017. Running intensity fluctuations indicate temporary performance decrement in top-class football[J]. *Sci Med Football*, 1(1):10-17.

LUTEBERGET L S, TROLLERUD H P, SPENCER M, 2018. Physical demands of game-based training drills in women's team handball[J]. *J Sports Sci*, 36(5):592-598.

MALONE J J, LOVELL R, VARLEY M C, et al., 2017. Unpacking the black box: Applications and considerations for using GPS devices in sport[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(Suppl 2): S218-S226.

MOHR M, KRUSTRUP P, BANGSBO J, 2003. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue[J]. *J Sports Sci*, 21(7):519-528.

OLTHOF S, FRENCKEN W, LEMMINK K, 2017. Match-derived relative pitch area changes the physical and team tactical performance of elite soccer players in small-sided soccer games[J]. *J Sports Sci*, 36(14):1557-1563.

OWEN A L, DJAOUI L, NEWTON M, et al., 2017. A contemporary multi-modal mechanical approach to training monitoring in elite professional soccer[J]. *Sci Med Football*, 1(3):216-221.

RAMOS G, NAKAMURA F, PEREIRA L, et al., 2017. Movement patterns of a u-20 national women's soccer team during competitive matches: Influence of playing position and performance in the first half[J]. *Int J Sports Med*, 38(10):747-754.

SPARKS M, COETZEE B, GABBETT J T, 2016. Variations in high-intensity running and fatigue during semi-professional soccer matches[J]. *Int J Perform Anal Sport*, 16(1):122-132.

STAGNO K M, THATCHER R, VAN SOMEREN K A, 2007. A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players[J]. *J Sports Sci*, 25(6):629-634.

TORREÑO N, MUNGUÍA-IZQUIERDO D, COUTTS A, et al., 2016. Relationship between external and internal loads of professional soccer players during full matches in official games using global positioning systems and heart-rate technology [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7):940-946.

TREWIN J, MEYLAN C, VARLEY M C, et al., 2017. The influence of situational and environmental factors on match-running in soccer: A systematic review[J]. *Sci Med Football*, 1(2):183-194.

VIEIRA L H P, CARLING C, BARBIERI F A, et al., 2019. Match running performance in young soccer players: A systematic review [J]. *Sports Med*, 49(2):289-318.

WALDRON M, HIGHTON J, 2014. Fatigue and pacing in high-intensity intermittent team sport: An update[J]. *Sports Med*, 44(12): 1645-1658.

WHITEHEAD S, TILL K, WEAVING D, et al., 2018. The use of microtechnology to quantify the peak match demands of the football codes: A systematic review[J]. *Sports Med*, 48(11):2549-2575.

(收稿日期:2020-04-20; 修订日期:2021-04-28; 编辑:尹航)

