

高强度间歇训练对足球运动员运动表现影响的研究进展

张 峰¹, 翟 元², 张 冰³

(1.上海体育大学 竞技运动学院, 上海 200438; 2.南京航空航天大学 体育部, 江苏 南京 211106; 3.河北科技大学 体育部, 河北 石家庄 050018)

摘 要: **目的** 研究高强度间歇训练(HIIT)对足球运动员运动表现的影响。**方法** 搜索 Web of Science、Pubmed、Ebsco 和中国知网等数据库, 采用 PEDro 改良量表对纳入文献进行质量评价。**结果** 纳入 38 篇, 均为实验类, 平均 17.45 分; 球员峰值摄氧量、峰值功率和血乳酸浓度有显著差异, 个别研究存在异质性; 与高容量训练(HVT)、持续强度耐力训练(CIET)和中等强度持续训练(MICT)的心肺功能指标效应量对比存在分歧; 心肺耐力和肌耐力相关指标有显著差异, 冲刺、垂直纵跳和灵敏指标存在分歧; 专项能力指标有显著差异, 且效应量小于小场地比赛(SSG)。**结论** HIIT 可以改善球员的有氧和无氧代谢能力, 但存在个体反应异常现象, 多见于青春期前; 对有氧能力的提升并不一定优于 HVT、CIET 和 MICT 等大负荷量持续训练, 但有高时效性; 对下肢爆发力、冲刺和灵敏的作用受多种因素制约; 对专项能力的提高效果低于 SSG。

关键词: 身体机能; 基础体能; 专项技能; 训练负荷

中图分类号: G808.1 文献标识码: A 文章编号: 1003-983X(2024)02-0075-11

Research Progress on the Effect of High-intensity Interval Training on Football Players' Performance

ZHANG Feng¹, ZHAI Yuan², ZHANG Bing³

(1.School of Athletic Performance, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2.Department of Physical Education, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu, 211106; 3. Department of Physical Education Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei, 050018)

Abstract: **Objective** To study the effect of high intensity interval training (HIIT) on the athletic performance of football players. **Methods** The databases of Web of Science, Pubmed, Ebsco and CNKI were searched, and the quality of the included literatures was evaluated by PEDro improvement scale. **Results** 38 studies were included, all of which were experimental, with an average score of 17.45. There were significant differences in peak oxygen uptake, peak power and blood lactate concentration, and there was heterogeneity in individual studies. The effect size of cardiopulmonary function index was different from that of high-volume training (HVT), continuous intensity endurance training (CIET) and moderate intensity sustained training (MICT). There were significant differences in cardiopulmonary endurance and muscle endurance, but there were differences in sprint, vertical jump and agility. There were significant differences in specific ability indexes, and the effect size was smaller than that of small field competition (SSG). **Conclusion** HIIT can improve the aerobic and anaerobic metabolic capacity of players, but there are abnormal individual responses, most of which occur before puberty. The improvement of aerobic capacity is not necessarily better than HVT, CIET and MICT continuous training with large loads, but it has high timeliness. It can improve the endurance level of players, and the effect on the explosive power, sprint and agility of lower limbs is affected by many factors. The improvement effect of special ability is lower than that of SSG.

Keywords: physiological function; strength and conditioning; special skill; training load

足球运动员每场比赛平均奔跑 10~12 km, 平均摄氧量为 70%~80%VO_{2max} (最大摄氧量)^[1], 但比赛中会出现若干次的短

时高强度运动^[2]。平均每 5~6 s 就会改变一次运动形式^[3], 每 60~90 s 就会出现 1~4 s 的高强度技术动作, 这些技术动作全场累计高达 150~250 次^[4]。可见, 足球运动是以长时间的低强度和中等强度为主, 中间穿插短时高强度的间歇运动^[5], 其负荷特征是从低强度到高强度的间歇负荷。并且, 这些伴随专项技术的急停、变向、起动和冲刺等短时高强度运动会比赛结果产生关键影响^[4]。因此, 如何在训练中提高有间歇的短时高强度运动表现对足球运动员至关重要。

收稿日期: 2023-10-18

基金项目: 上海市教育科学课题(C2022240)。

第一作者简介: 张 峰(1989~), 男, 江苏徐州人, 在读硕士, 研究方向: 体能训练。

通讯作者简介: 翟 元(1980~), 男, 内蒙古包头人, 硕士, 副教授, 研究方向: 足球训练, E-mail: 1270933943@qq.com。

高强度间歇训练是以大于等于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,且每2次练习之间安排使练习者不足以完全恢复的静息或低强度练习的训练方法^[6]。德国近年来已普遍使用 HIIT 作为训练手段,同时 HIIT 和 SSG 在不同年龄球员中的应用效果也是其研究重点^[7-9]。HIIT 和足球都有间歇性特征,有诸多相关研究探索 HIIT 对足球运动员运动表现的影响。但在综述类研究中,大部分只对比了 HIIT 和 SSG 两种训练方式的差异,并且只针对个别身体素质指标^[10-12]。虽然有研究将 HIIT 与 HVT 或 LCT(低强度持续训练)进行对比,但评价指标仅限心肺耐力^[13-14]。另有一些研究并未与其他训练方法做横向对比^[15-16]。综上所述,目前综述类研究仅有 HIIT 与 SSG、HVT 和 LCT 的对比,并且涉及的身体机能和身体素质指标较少。对于不同类型的 HIIT,及其与不同训练方法的效果差异,以及对球员各项身体机能、基础体能和专项技能的影响鲜有涉及,而这些内容对探讨 HIIT 的运动表现不可或缺。因此,有必要将 HIIT 对球员运动表现的多方面影响,以及 HIIT 与不同训练方法的效果差异做系统性梳理和总结。

1 研究方法

1.1 文献检索方法

以“足球”和“高强度间歇训练”为主题,检索中国知网数据库。并以检索式("football" or "soccer")和("hiit" or "hit" or "high intensity interval training" or "high intensity training" or "interval training" or "intermittent high intensity exercise")为主题检索 Web of Science、Ebsco 和 Pubmed 数据库。

由第一作者制定检索策略,另一名研究人员审核检索策略。随后两人各自执行检索策略,对检索结果进行汇总。过程中有任何疑问由两人协商解决。

1.2 文献纳入排除标准

纳入标准:1)纳入文献需为实验类研究;2)干预措施为高强度间歇训练,并对训练方法进行描述;3)实验过程有相关测试指标,实验结果有指标变量;4)受试者需包含足球运动员;5)干预实验设计科学合理,资料收集、数据分析方法正确。

排除标准:1)非实验类研究;2)研究主题不符,干预措施不包含高强度间歇训练,并对训练方法没有相关描述;3)实验过程没有说明相关测试指标,实验结果没有指标变量,只有定性描述,没有数据支撑;4)综述、会议、图书类文章;5)受试者为非足球运动员。

1.3 数据提取

对纳入的文献下载全文并进行数据提取。提取的数据包括干预方式、干预负荷、干预效果、干预周期、干预方案、受试者数量、受试者基本信息(年龄、性别、运动等级,其中职业足球俱乐部及其梯队运动员为精英级,业余和校队运动员为非精英级)、组内和组间比较所需的信息。

1.4 质量评价

采用 Brughelli 等人编制的 PEDro 改良量表进行质量评价^[17]。PEDro 改良量表包含 10 个条目,每一条目的得分在 0~2 分之间(见表 1),可以较为明确恰当的评价纳入文献质量。

表 1 PEDro 改良评分量表

标准	评分标准		
	明显不	也许是	明显是
纳入标准明确	0	1	2
受试者被随机分配到组	0	1	2
干预的定义很明确	0	1	2
对各组进行基线相似度描述	0	1	2
使用对照组	0	1	2
明确定义结果变量	0	1	2
评估实际上是有效的	0	1	2
干预时间实际上是有效的	0	1	2
组间比较采用统计学方法	0	1	2
点测量变异性	0	1	2

2 研究结果

2.1 文献检索结果

中国知网上检索到 18 条结果,排除 3 篇会议摘要和 1 篇综述类研究,根据纳入排除标准,共 1 篇中文文献被纳入。在 Web of Science 共检索到 440 条结果,在 Ebsco 共检索到 1 591 条结果,在 Pubmed 共检索到 352 条结果,合计 2 382 条结果。根据纳入排除标准,共 37 篇外文文献被纳入。文献检索详细过程见图 1。

2.2 纳入文献及基本信息

纳入文献中有 5 篇为急性干预实验,32 篇为中长期干预实验。实验测试指标涉及身体机能、身体素质、专项能力等 4 个类别,并且有 12 篇文献研究结果涉及 HIIT 和其他训练方式的效果对比。实验对象涉及男性和女性、精英和非精英足球运动员。

2.3 方法学质量评价

纳入的 38 篇文献平均得分为 17.45 分,得分范围 10~20 分。大多数文献对受试者基本信息、干预方案、实验过程、测试指标都有详细的描述,能够明确定义结果变量,使用的统计学方法科学合理。

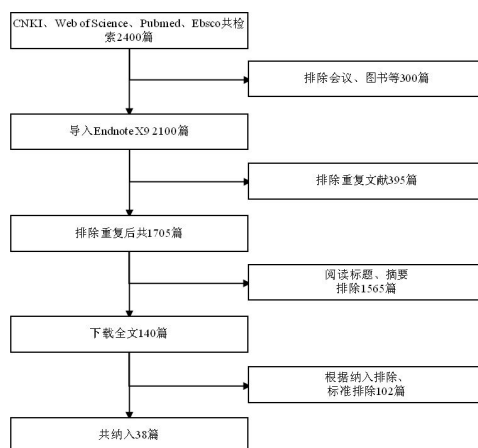


图 1 外文文献检索和筛选流程图

2.4 纳入文献结果

纳入文献发表时间为 2007—2022 年。干预周期从 1 次到 12 周不等。受试者年龄范围 8~34 岁,其中 18 篇实验对象为未成年人,11 篇为成年人,8 篇实验对象包括未成年和成年,1 篇未说明实验对象年龄。其中 6 篇为交叉对照实验,3 篇为自

身前后对照实验,这 9 篇未设立对照组。测试指标除涉及身体机能、身体素质、专项能力外还包括不同训练方式或不同参数的训练效果对比。干预效果涉及身体机能的 24 篇,涉及身体素质的 25 篇、涉及专项能力的 3 篇、涉及不同训练方法及不同参数对比的 30 篇(见表 2)。

表 2 纳入文献基本信息及统计结果

参考文献	国家	实验对象				干预方案		PEDro 评分
		人数/性别	年龄/岁	运动等级	时长	运动方案	训练效果	
Yiannis et al., 2022 ^[18]	希腊	29/男	15~17	精英	4 周	GE:2~3*4 min/15:15 s/120% YoYo最高速;GC:常规	GE:速度、Illinois测试、RSA ↑, CMJ、YoYo 跑、30 m组间和组内→	20
Hadi et al., 2022 ^[19]	葡萄牙	28/男	17.3 ± 0.5		4 周	SSG:2*2 min/2 min休息;HIIT: 5*15:15 s/90%~95%VIFT;RST: 4*30 m/20 s休息	体脂降低,SJ、冲刺、Pp、COD均 ↑, 组间→	20
Ersan et al.,2021 ^[20]	土耳其	24/男	14.7 ± 0.7	非精英	6 周	SSG;HIIT:2*3~5 min/15:15 s, 90%~100%V _{IFT}	BMI、冲刺、CMJ、ZAWB、ZAWOB、RSA、SDA、YoYo、VO _{2max} 均 ↑	18
Fang et al., 2021 ^[21]	韩国	56/男	15~18	非精英	4 周	HIIT:2*6次/30 s;MICT:60 min 自行车;3*12/80%1RM深蹲	HIIT 组VO _{2peak} 、ATv;MICT组VO _{2peak} ↑	15
Campos et al., 2021 ^[22]	巴西	11/男	18.5 ± 1.1	精英	10 周	HIIT86:4*4 min/15:15/86%,3 min 间歇;HIIT100:8*60 s,45 s间隙, 15:15/100%	HIIT ₈₆ VO _{2peak} 、速度、VT、RSA、CMJ、SJ增幅更大	19
David et al., 2021 ^[23]	爱尔兰	25/男	25.9 ± 3.8	非精英	6 周	ET:40~50 min/75%vVO _{2max} ;SIT: 3~4*4/50 m折返,3 min间歇	两组VO _{2max} ↑,Mp ↑,Pp ↑,CMJ和 5 m 冲刺→;ET20 m和SJ ↓	20
Sara et al., 2021 ^[24]	意大利	30	16 ± 0.74	非精英	3 个月	SST:3~4*500~1 500 m HIIT:2~3*4~8/1:1;ITG:2~3*45~50 s	三组VO _{2max} 都 ↑,BMI→,组间→	19
Filipe et al., 2020 ^[25]	土耳其	20/男	14.2 ± 0.5	非精英	5 周	SSG:2*2/2.30~4.30 min,2 min间歇;HIIT:2*6~10 min/15:15 s/ 90%~95%V _{IFT}	VJH ↑;SSG的ZAWB和ZAWOB ↑ 更大,1 000 m、RSA、YoYo ↑ 更小	19
Filippo et al., 2020 ^[26]	澳大利亚	19/女	19.9 ± 3.3	精英	13 天	2*6/15:15 s/20:20 s,2*8/30:30 s、 2*5/20:20 s,间歇3min	HIIT ₃₀ 的bLa和VIFT ↑ 更大,SRE ₂₀ 和RE ↑ 更小	20
Anasthase et al.,2020 ^[27]	法国	10/男	13.0 ± 0.3	精英	1 次	SSG:4*4 min;HIIT:4*4 min/30: 30,间歇1 min	HIIT ≥ 90%和95%HR _{max} 时间更长, 生理反应个体差异更小	14
Marco et al., 2020 ^[28]	意大利	12/男	23 ± 2	非精英	2 次	2 种HIIT, 15:30和30:15 s	30:15比15:30代谢功率更高。 f(R)和RPE相关性更强	10
Lee et al., 2020 ^[29]	韩国	44/男	17.2 ± 1.0	非精英	3 周	HIIT:3*15 min/20:60 s, ≥ 90% HR _{max} ,5 min间歇	肌肉质量 ↑,Pp ↑,疲劳指数 ↓, 180° /s 和240° /s →	12
Ibrahim et al., 2020 ^[30]	突尼斯	16/男	17.5 ± 0.6	精英	1 次	SSG:4*4 min,3 min休息;HIIT: 4*4 min/110%MAS/15:15冲刺	%HRmax,%HRR、bLa、RPE组 间→;HIIT 的更大	19
Morten et al., 2019 ^[31]	丹麦	25	19~34	精英	10 周	GE:2~3组冲刺,4 min间歇;GC: 2~3 组6次变向冲刺,54 s间歇	GE 的YoYo ↑,T-test和30 m冲 刺→,GC 相反	17
Alireza et al., 2019 ^[32]	伊朗	21/男	23.2 ± 2.2	精英	4 周	HIIT:2*3 min/15:15 s,95%~ 100%V _{IFT} ;SSG:2*3 min,3v3	V _{IFT} ↑,组间→	19
Runacres et al., 2019 ^[33]	英国	37/男	13.1 ± 2.5	精英	3 个月	HIIT:SSG;CIET:30 min变速, 8 000 m跑	HIIT 组VO _{2peak} ↑、GET ↑、V _{max} ↑、 30 m ↑ 大于CIET	16
Daniel et al., 2019 ^[34]	智利	24/男	U-17	非精英	8 周	GE:跳跃HIIT;GC:常规技战术。	GE 跳跃测试和Pp ↑,GC →	19
Nenad et al., 2019 ^[35]	塞尔维亚	60/男	14~18	精英	8 周	HIIT:3~4*5~8/15:15 s/90%~ 95%VIFT;SSG	HIIT 组CMJ、SJ、5 m冲刺、Illinois 均 ↑;SSG 5 m冲刺 ↑	18
Okba et al., 2018 ^[36]	突尼斯	16/男	24.1 ± 0.9	精英	1 次	4*4 min,间歇3 min;SSG:4v4; HIIT:15:15 s,110%MAS	HRpeak,HRmean,%HRmax,bLa 和RPE →	13
Poulos et al., 2018 ^[37]	希腊	20/男	19 ± 2.21	非精英	8 周	HIIT:8 min/15:15 s/120% VO _{2max} ,4*4/3 min 的SSG; CG:40 min/70%VO _{2max}	HIIT 组10 m冲刺 ↑,VO _{2max} 、VT、 VJH、Illinois 组内和组间→	20
Ramirez et al., 2017 ^[38]	西班牙	13			8 周	V _{max} 进行,工作间歇比为1:2、 1:1、2:1	有氧和无氧均提高;VO ₂ ↑、 IAT ↑,BMI ↓,组间→	14

续表2

参考文献	国家	实验对象				干预方案		PEDro 评分
		人数/性别	年龄/岁	运动等级	时长	运动方案	训练效果	
Neal et al., 2017 ^[39]	美国	32	13~16	非精英	10 周	EG:4~6*30 s 冲刺,4.5 min 间隙; CG:耐力跑	YoYo 跑↑,柔韧性→,组间→;EG 的VJH↑,CG灵敏↑	16
Hamid et al., 2017 ^[40]	伊朗	16/女	23.4±1.3	精英	6 周	HIIT _{HR} :3*4/90:90 s/90%HR _{max} , HIIT _{SP} :2*7.5 min/90:90s/90%V _{max} ; 2 min 间歇	VO _{2max} ↑,HIIT _{SP} 功率、 疲劳指数↑更大	20
Matthew et al., 2016 ^[41]	英国	37/女	13.4±1.5	非精英	8 周	板块1:HIIT,板块2:SIT	after-PHV 的T-Test↑,at-PHV↓; before-PHV 的RSA↓最大,YoYo跑 存在个体差异	14
Jonathan et al., 2016 ^[42]	英国	15/男	24±4	精英	2 周	直线组:3~4组/7*30 m;变向组: 3~4 组/7*20 m 折返;组间4 min	5、10、20 m 冲刺↑,YoYo跑↑,灵 敏性和CMJ→,组间→	18
Mariusz et al., 2016 ^[43]	波兰	36	17.5±0.6	精英	8 周	SSG:4*4 min,3 min 休息;HIIT: 4*5 min,3 min 休息	Pp、5 m、10 m、20 m、CMJ、SJ都↑, 组间→	20
Asier et al., 2015 ^[44]	西班牙	17/男	15.5±0.6	精英	8 周	ITG:3*4 min/90%~95%HR _{max} ; SSG:3*4 min	MAS↑,ITG 的CMJ→, SSG 的CMJ↓	20
Patrick et al., 2014 ^[9]	德国	12/男	26.1±4.5	非精英	2 周	4*4 min,3 min 休息,SSG 和间歇跑	CMJ→,RSA↑,YoYo跑↑, 最好RSA→	14
Anke et al., 2014 ^[7]	德国	19/男	16.5±0.8	精英	4 周	HIIT:2*12~15/15:15 s,140% IAT,间歇10 min;SSG:4*4 min,间 歇4 min	HIIT 组HR _{max} 更高,DJ更低, HR _{mean} →,V _{peak} ↓,SSG 的V _{peak} ↑	20
Robert et al., 2014 ^[45]	波兰	22	15.8±0.63	非精英		SSG:7*3 min/90 s 休息;HIIT:7*3 min/15:15 s/85%~90%HR _{max} ,组间 歇90 s	SSG 组VO _{2max} ↑,两组5、30 m 冲刺→	18
Oliver et al., 2013 ^[8]	德国	20/男	15.9±0.8	精英	11 周	HIIT:2*12~15次/1:1,间歇10 min;HVT:30~60 min/80%~95% IAT	HVT 的IATv↑更大,IAT无反应 少;两组V _{max} ↑,HR _{peak} ↓,VJH↓, bLa _{peak} →	18
Bieri et al., 2013 ^[46]	瑞士	14	青少年	精英	10 天	HIIT:4*8/15:15 s,4*4 minSSG; CON:常规	VO _{2max} 、BV、tHbm→;bLa _{peak} 、 HR _{peak} 、CMJ↓	18
Karahan et al., 2012 ^[47]	土耳其	24/女	20.3±2.5	非精英	8 周	EG:4*4~7/20~25:30;CG:常规	EG 的VO _{2max} ↑,Pp↑,Mp↑, 幅度高于CG	18
Billy et al., 2011 ^[48]	德国	17/男	13.5±0.4	非精英	5 周	HIIT:90%~95%HR _{max} 、28.8 min; HVT:50%~70%HR _{max} 、57.3 min	HIIT 组RPE、bLa、VO _{2max} 和 1 000 m↑更多;冲刺均↑,VJH均→	19
Jesper et al., 2011 ^[49]	美国	14/女	20.3±2.3	非精英	3 次	4*4 min,3 min 休息	CMJ 和RPE有显著差异,48和72 h 后→	16
Wong et al., 2010 ^[50]	香港	39/男	23±3	精英	赛季前8 周	EG:4*6RM 力量,16/15:15 冲刺; CG:常规	EG:VJH、冲刺、YoYo跑、MAS都↑; CG:YoYo跑↑、MAS↑,增幅小	17
Bravo et al., 2007 ^[51]	瑞士	26	21.1±5.1	精英和 非精英	12 周	ITG:4*4 min/90%~95%HR _{max} , 3 min 间歇;RSA:3*6/40 m 折返, 4 min 间歇	RSA 组YoYo跑和RSA↑更大;两 组CMJ、SJ、10 m 冲刺组内和组 间→	18
陈梓豪 2020 ^[52]	中国	24/女	21.2±1.22	非精英	4 周	GE:3v3和5v5的SSG,4*3 min,间 歇1 min;GC:常规	GE 的YoYo↑和12 min跑↑,GC→	18

注:MICT:中等强度持续训练,VO_{2peak}:峰值摄氧量,↑:显著改善,↓:显著下降,→:无显著差异,AT:无氧阈,IVT_v:无氧阈速度,Pp:峰值功率,COD:变向能力,VIFT:30-15 测试速度,BMI:身体质量指数,CMJ:下蹲跳,ET:耐力训练,vVO_{2max}:最大摄氧量速度,ZAWB:之字形带球,ZAWOB:之字形跑,SDA:快速带球能力,YoYo:悠悠跑,RPE:自感疲劳度,SST:稳态训练,HIITSM:微冲击循环类型的 HIIT,HIITRAD:传统类型的 HIIT,bLa:血乳酸浓度,HR_{max}:最大心率,f(R):呼吸频率,MAS:最大有氧速度,SIT:间歇冲刺训练,T-test:T 型跑,GET:通气阈,Mp:平均功率,GE/EG:实验组,GC/CG:对照组,HIITHR:基于心率的 HIIT,HIITSP:基于速度的 HIIT,VT:通气阈,ITG:间歇训练组,V_{max}:最高速度,after-PHV:青春期中, before-PHV:青春期中前, at-PHV:青春期中, HR:心率,DJ:跳深,HR_{mean}:平均心率,V_{peak}:峰值速度,HR_{peak}:峰值心率,bLa_{peak}:血乳酸峰值,BV:血容量,tHbm:总血红蛋白量,SP:冲刺,5BT:5 边形跳,HRR:心率储备。

3 讨论与分析

3.1 HIIT 对足球运动员身体机能的影响

3.1.1 足球运动员进行 HIIT 后的身体机能反应

大多数文献表明球员进行 HIIT 后身体机能反应为: VO_{2peak} 、 VO_{2max} 、 VO_2 、MP、Pp 和 IAT 的显著提高, bLa_{peak} 下降^[20-21,26,29,31,33]。个别研究结果存在分歧,主要集中在 IAT 和 VO_{2max} 两方面。在 Anke 的研究中^[7],虽然 IAT 提高了 1.3%,但仅 42% 的受试者超过基线变化幅度,68% 的受试者反应不明确,另有 16% 的受试者与基线变化相反,部分还出现了生理疲劳。这种结果表明 HIIT 在赛季中的训练效果存在较高异质性,呈现个体化特征,并且会出现疲劳。其原因为:在赛季中本身负荷强度就较高,并且球员每场比赛负荷不同,所以对 HIIT 的干预效果会出现一定程度的异质性。Bieri 的实验中^[46], VO_{2max} 出现下降, tHbm 和 BV 的变化与之前的同类型研究不一致^[32,53],此结果受总负荷量不足影响。因为 BV 和 tHbm 在缺氧的环境中会升高, VO_{2max} 的变化又与 BV 和 tHbm 的变化密切相关^[54]。已有研究表明 HIIT 可以显著改善心血管功能、提高心肺能力^[46,55-56],在 90%~95% HR_{max} 范围内可以有效提高 VO_{2max} ^[57]。故虽然该实验中强度已达 $93.4 \pm 2.2\%HR_{max}$,但干预周期仅 10 天,总负荷量并未达到促使 BV 和 tHbm 显著升高的缺氧环境。与 Bieri 同类型的一项研究表明将每个板块 32 次 15:15 s 的方案扩大到 64 次时,可以显著提高 VO_{2max} 达 6% 以上^[53];另有研究也显示当 HIIT 的周期为 8~12 周时可对有氧能力产生显著影响^[58]。其分子机制与线粒体生物发生有关,细胞摄氧量增加通过运动刺激线粒体生物发生来实现^[59],这项工程的关键环节 PGC-1 α 调节因子的增加依赖运动强度升高,但前 5~7 次训练存在平台期,下游调控因子 NRF、TFAM 和 p53 蛋白依赖负荷量的诱导^[60]。因此,若训练频率为每周 2 次,则一个 HIIT 周期应不低于 4~5 周。综上所述,大部分球员 HIIT 后有氧和无氧代谢能力都得到提升,但 IAT 和 VO_{2max} 存在个案分歧,或与生理疲劳和总负荷量不足有关。

3.1.2 HIIT 和其他训练方式对球员身体机能的影响效果对比

HIIT 和 SSG 都能提高球员的有氧和无氧代谢能力,HIIT 对有氧代谢的急性刺激更强,个体训练效果差异更小,心率在 $\geq 90 \sim \geq 95\%HR_{max}$ 区间占比更大^[7,25,27,30,36]。HIIT 和 SSG 对球员身体机能的效果差异存在分歧,例如有两项研究中 HR、RPE、bLa 等指标均无显著差异^[30,36];另有两项表明 HIIT 比 SSG 对球员心肺系统的急性刺激更强,同时 SSG 比 HIIT 对心肺功能的改善更小^[25,27]。分歧原因与训练方案参数不同有关,SSG 效果受参赛人数、规则、场地大小、教练鼓励、持续时间、间歇时间、有无守门员等因素影响^[36,52,61]。研究显示,场地越大对于运动员的有氧需求就越大^[32],3v3 比 5v5 的有氧能力提高更多^[52],中等场地即 42×28 m 规格对有氧刺激更强^[27]。同时 HIIT 的效果也受到各种参数影响^[15],且不同 HIIT 形式(例如 HIITSM 和 HIITTRAD)效果也有区别^[26]。当方案参数一致时,训练效果也具有 consistency。另一方面,SSG 的身体机能反应存在个体化特点,表现为个体指标变化不明确。这种个体机能效果差异受长期从事不同位置的影响,因为不同位置的跑动距离、

速度区间、加减速次数、技战术需求和运动习惯都不同^[62],所以 SSG 出现个体化特征的比例大于 HIIT。综上所述,HIIT 和 SSG 对球员有氧和无氧能力都有促进作用,训练效果受方案参数的影响,SSG 个体训练效果异常的比例大于 HIIT。

与间歇训练相对的是 MICT、HVT 和 CIET 等大负荷量持续训练方式,HIIT 的 Pp 提高效果大于 MICT,肌肉耐力提高效果小于 MICT,身体机能反应个体间差异大于 HVT,对有氧能力的提高与 CIET 无显著差异^[8,21,33,48]。HIIT 与传统大负荷量持续训练的效果差异一直备受关注,有两项研究都验证了 HIIT 和 HVT 对球员有氧耐力的提高效应,但前者表明 HVT 对 IAT 提高更多^[8],后者表明 HIIT 对 VO_{2max} 提高更多^[48],研究结果存在分歧。其原因与受试者年龄、干预周期和实验开展阶段不同有关,两实验受试者平均年龄相差 2.4 岁,干预周期相差 5~6 周。另一方面,前者的实验分 2 个阶段进行,分别在冬季和夏季的赛前准备期,两阶段间隔时间过长且又是赛季期,球员在赛季期身体内外部负荷较高,疲劳累积很可能使身体机能降低,这时 HIIT 的既定强度便很难实现。相反,强度更低时间更长的 HVT 更易适应。并且,赛季期比赛的频次、负荷、身体机能反应和疲劳程度又各不相同,所以对 HIIT 无反应者占 40%,对 HVT 无反应者仅 14%,表明赛季间 HIIT 的身体机能个体反应差异大于 HVT。因此,当球员处于疲劳状态,身体机能下降时,建议使用 HVT 来保持有氧能力。

关于 HIIT 和 CIET 的效果差异,有观点认为 HIIT 比 CIET 对有氧能力有 5%~10% 的显著提高^[63],且 HIIT 比 CIET 对 VO_{2peak} 提高效果更好^[48]。但也有研究驳斥了 HIIT 对有氧能力的提升较 CIET 显著的观点^[64-65];并指出 HIIT 并没有明显优于其他训练方法(例如 SSG、中等或低强度持续训练、法特莱克跑、专项技术训练和普通专项训练等)^[18]。出现这种分歧的主要原因在于 2 种训练方案的强度设置。CIET 的强度区间并没有明确限制,有些研究控制在中低强度水平,而有些研究处在较高区间,当达到 80% VO_{2max} 或 90%~95% HR_{max} 时,CIET 和 HIIT 对球员 VO_{2max} 和 bLa 的提升已经没有显著差异^[66-67]。对于 HIIT 而言,85% HR_{max} 是一个阈值,在控制好总负荷量的情况下超过 85% HR_{max} 的强度会显著改善 VO_{2peak} ^[68]。因此,当强度与负荷量的设置并不一致时不同研究结论会出现分歧。

关于 HIIT 和 MICT 的效果差异,纳入文献表明 HIIT 和 MICT 都提高了球员 VO_{2peak} 、AT 和 Pp,HIIT 效果更优,减脂效果组间无显著差异^[21],这与之前的研究结果一致^[69]。之前的研究显示二者对于减脂没有显著差异,但对 VO_{2max} 和 VO_{2peak} 的刺激 HIIT 显著更优^[70],尤其是长间歇型 HIIT(>2 min)对 VO_{2max} 的作用比短间歇型 HIIT(<30 s)和 MICT 更显著^[71],并且 HIIT 的 HR、bLa、RPE 也显著高于 MICT^[72]。有学者建议使用不低于 12 周,每周 3 次(4 组 4 min,间歇 3 min)的 HIIT 来增强心血管功能^[57]。但也有研究指出 HIIT 和 MICT 对 VO_{2max} 、通气阈和中等强度时氧耗动力参数没有显著差异^[73]。在足球项目中,HIIT 和 MICT 效果差异的相关研究较少。有研究表明,当运动员已经具备较好的心肺功能时(VO_{2max} 达到 60 ml/kg/min),增加强度比增加运动量对于进一步提升有氧能力更有效^[13]。因此,HIIT 和 MICT 都可以改善球员的 BMI 和有氧耐力,二者在实际应用中的效应量比有待进一步研究。

综上所述,HIIT 与 HVT、MICT、CIET 等大负荷量持续训

练都能提高球员的心肺能力,个案分歧与训练负荷有关。HVT、MICT、CIET的负荷强度区间并不完全一致,HVT是以65%~75%的 VO_{2peak} ,<80%的 HR_{peak} ,或 $bLa < 2 mmol/L$ 的中低强度进行^[74];MICT是以中等强度(55%~70% HR_{max} ,RPE量表分为11—13分)进行的持续有氧训练^[75];CIET强度区间并未严格限制。除了强度,不同研究中的负荷量区别也较大,体现在周期、频率和单次时长方面。大负荷量耐力训练的频率应尽可能不低于每周3次,每次不少于40 min且强度不宜过低。例如,在一项研究中球员进行6周、每周2次、35 min(70% MAS)的训练后耐力水平没有显著提高^[76];而另外两项干预频率一致的同类型研究中,当强度分别达到80% VO_{2max} 和90% HR_{max} 时, VO_{2max} 则显著改善^[66-67]。无氧方面,HIIT在强度区间以及在该区间的持续时间上显著高于中低强度大负荷量耐力训练,故HIIT对球员无氧能力的改善更优。因此,目前并没有充分证据证明HIIT对足球运动员心肺能力的训练效果一定优于HVT、CIET和MICT等大负荷量训练,尤其当每次大负荷量训练达到40 min(强度:80% VO_{2max})时;HIIT的个体训练效果异常者占比更高;但训练时长更短^[18,24],比大负荷量训练减少30%~50%^[8,48],时效性更高。

3.2 HIIT对足球运动员身体素质的影响

3.2.1 足球运动员进行HIIT的身体素质训练效果

HIIT可以提高球员的耐力素质和重复冲刺能力,对速度、下肢爆发力和灵敏的影响不明确,表现为YoYo跑、3 000 m跑、RSA、等速肌力等指标显著改善,5~30 m冲刺、CMJ、SJ、T-test、Illinois等指标存在分歧^[8,21,25,28-31,34,38,48]。在涉及纵跳高度指标的文献中,有10篇干预结果为显著改善,另有11篇无显著差异或轻微下降;在涉及速度指标的文献中,有11篇为显著改善,另有6篇为无显著差异或略微下降;在涉及灵敏指标的文献中,有5篇为显著改善,另有4篇为无显著差异或轻微下降。

关于HIIT对球员下肢爆发力的影响,先前有研究对比了5周的HIIT与SSG的训练效果,结果表明5周的HIIT不但对下肢爆发力有显著提高,而且较SSG的效果更显著^[25,48]。但也有实验表明,HIIT无法显著提高球员的下肢爆发力,在足球的其他训练方法中和其他运动项目中^[77-78],CMJ和DJ也出现过类似结果。其机制与疲劳的产生有关,例如Anke的研究中CMJ的降低同时伴随Urea(尿素)升高、恢复轻微下降和压力轻微上升等现象^[7],表明受试者出现了疲劳的早期症状。其他相关研究中,大学足球运动员在11周的密集比赛后跳跃高度显著下降^[77],橄榄球运动员在6周HIIT后跳跃高度也轻微下降^[78]。除疲劳因素外,赛季中跳跃高度的变化与心理压力的变化存在相关性^[79]。疲劳和压力对下肢爆发力的影响通过降低中枢兴奋性,影响神经通路电信号传导速度来实现。另一方面,一些学者指出受同期训练的影响,在基于耐力导向的HIIT后,力量输出功率会被削弱^[80]。

HIIT对球员速度的影响不明确,从能量代谢角度考虑,其原因可能为HIIT通过提高糖酵解酶和氧化酶活性来刺激糖的供能效率和脂肪氧化率^[81],所以HIIT主要优化运动员的糖酵解和有氧化系统。而5~30 s冲刺主要由磷酸源系统供能,因此通过HIIT并不能有效刺激该系统供能水平。从中枢适应

机制考虑,HIIT属于间歇运动,需要多次和多组的训练,强度虽然高,但没有达到极限强度,这个前提条件使HIIT很难达到刺激运动员提升力量发展速率和动作频率的极限强度,因此中枢兴奋性以及中枢对于更高力量发展速率和动作频率的适应很难实现。从外周适应机制考虑,肌纤维的招募由力量需求决定,低力量需求对运动单元的募集数量较高强度需求时更少^[82]。并且,IIX型肌纤维在不同功能需求时生化和形态特性具有很大的可塑性^[83],但HIIT只增加了I型肌纤维的表达^[84]。所以HIIT很可能无法实现增加快肌纤维比例的刺激强度,故球员的速度很难提高。因此,有学者提出通过进行额外的功率和力量训练来强化力量和爆发力,从而提高短跑能力^[85]。

HIIT对球员灵敏能力的训练效果存在分歧,受训练方案针对性的影响。纳入文献的干预多为直线跑和只包含一次变向的折返跑,而T-test和Illinois测试有更多的变向和曲线跑,因此球员在训练中无法实现对灵敏能力的有效强化。另一方面,灵敏素质是一项综合素质,受反应时、速度、超等长收缩、拉伸、力量和平衡等多重因素影响^[9],所以训练目的并不是提高灵敏时,HIIT方案难以对灵敏能力产生实质性影响。而神经肌肉负荷经过不同形式的HIIT干预后效果差异很大^[86],因此灵敏能力要求训练方案的高针对性。综上所述,球员下肢爆发力受疲劳、心理压力和同期训练影响时,可考虑增加负荷强度并设置额外的力量训练来补充,改善灵敏能力需设计更有针对性的HIIT方案。

3.2.2 不同年龄段球员进行HIIT后身体素质对比

球员进行HIIT的效果受年龄影响,尤其在before-PHV年龄段^[33,41]。纳入文献表明 VO_{2peak} 在before-PHV、after-PHV前后测数据分别为(1.66 vs 1.75、2.93 vs 3.21)^[33];YoYo跑成绩基线变化幅度为25%,before-PHV、at-PHV、after-PHV分别为+11%、+31%、+28%^[41]。该两项研究的其他指标中,before-PHV的RSA成绩下降幅度最大,Pp和Mp低于其他两年龄段。以上数据表明before-PHV进行HIIT后多项测试指标与其他两年龄段的效应量存在较高异质性。其原因因为儿童在供能和恢复机制上的区别,before-PHV在重复冲刺后,从疲劳中恢复并维持运动表现的时间较短^[68,80],以接近或高于MAS进行高速间歇跑时,短间歇会导致高耗能^[87],并且儿童在高强度运动期间糖酵解能力较低^[88],这时高频的强化训练会引发疲劳累积、恢复困难和潜在的功能下降^[89],从而掩盖训练的效果。另一方面,before-PHV和after-PHV在急停变向时的生理机制也不同,before-PHV变向能力的发展依赖神经肌肉控制,而after-PHV的改善与激素浓度有关^[90]。同时before-PHV又具有发育速度不一致的特点,最终导致个体机能反应下降者比其他两年龄段多。综上所述,HIIT需考虑年龄因素对训练效果异质性的影响,尤其在before-PHV年龄段。

3.3 HIIT对足球运动员专项能力的影响

3.3.1 足球运动员进行HIIT的专项能力训练效果

HIIT对球员专项体能能有积极影响,表现为直线和变向带球速度、有球灵敏度都显著提升^[20,25]。其主要通过提升球员的身体素质来实现,HIIT提升了有氧和无氧代谢能力,速度、力量、灵敏和耐力等身体素质也得到强化,间接影响专项测试。另一方面,HIIT对专项技能也有促进作用。HIIT提高了比赛

中跑动距离、冲刺次数、传球精确度和传球质量^[91],同时可以提高技战术意识^[92]。足球比赛的强度和对抗日趋激烈,对身体素质提出了更高要求,身体素质的提高可以帮助球员在激烈对抗中取得更多的球权和空间优势,有更多时间去思考决策,更积极的跑位。当对手的技战术水平更高,场上局面处于被动时,则可以通过更好的体能优势在防守端给予对手更多压迫,以此弥补球权的缺失,并在为数不多的反击中提高进球效率,为赢得比赛建立全面保障。综上所述,HIIT 对球员的专项体能和技战术能力都有促进作用。

3.3.2 HIIT 和其他训练方式对球员专项能力的效果对比

HIIT 和 SSG 对专项能力存在效果差异,纳入文献表明 SSG 的 ZAWB 和 SDA 提高幅度(5.9%,7.2%)显著优于 HIIT(1.3%,5.9%)^[25]。其原因在于训练时有球和无球的区别。研究表明常规足球训练后 Hoff 测试(短距离折返运球)提高了 9.6%^[93];12 周的 SSG 使 Ekblom 测试(足球专项测试)提高了 16%^[66];HIIT 和 SSG 的 ZAWB 组间差异为 4.6%,而 ZAWOB 的组间差异仅 1%。故有球训练对专项能力的提高大于无球训练。因此,球的使用对提高足球专项能力至关重要,有无球是造成 SSG 和 HIIT 专项技能差异的关键因素。并且 SSG 中处理球时要时刻观察、不断决策、阅读比赛,这对意识的强化明显大于无球模式的 HIIT。另一方面,SSG 比 11 人制比赛强度更高,而高强度对抗条件下的运动表现不足也是我国与足球先进国家差距较大的主要原因。综上所述,SSG 比 HIIT 对球员专项能力的提高效果更优。

3.4 不同 HIIT 形式与参数对球员运动表现的影响特点

HIIT 的 5 种子类型在精英足球运动员日常训练中的使用频率分别为小场地比赛占 70%、短间歇型占 20%、长间歇型和重复冲刺训练各占 5%^[94]。影响 HIIT 效果的因素又包括以下 9 点:1)工作期强度;2)工作期时长;3)恢复期强度;4)恢复期时长;5)组内间歇次数;6)组数;7)组间间歇时长;8)总负荷量;9)运动方式^[94]。运动方式包括但不限于跑、跳、自行车、抗阻训练等等。因此,HIIT 具有高度可编辑性,应以训练目的为导向。如发展耐力素质,可以选择长间歇型 HIIT,每组和每次工作期的时间较长,强度不宜过高,间歇形式可采用主动休息。如发展无氧功,可选择短间歇型 HIIT 或重复冲刺训练,组次的工作时间较短,强度可设置在极量水平。如发展力量相关能力,可考虑抗阻训练、药球训练或超等长训练。如发展专项能力,则需要结合球进行。并且,对强度的适应会不断变化,工作间歇比可从 1:1.5~1:2 过渡到 1:1 甚至 2:1,组数、强度可随适应度逐渐提高,休息时长逐渐减少。

SSG 和短间歇型 HIIT 相对其他子类型更符合足球项目的运动特点,贴近足球比赛特征。在组次设置上,多使用 4 组 4 min 方案^[9,27,30,35,36,43,45,49]。从身体机能、基础体能和专项技能等方面综合考虑,SSG 是效果更全面、运动乐趣更高、与足球比赛特征最贴近的 HIIT 形式。其通过提高速度、RSA、COD、神经肌肉功能和生理适应来提高球员的运动表现^[95]。在参数配比方面,SSG 的强度随球员数量的减少和球员相对面积的增加而增加^[60],42*28 m 的中等规格场地在强度上大于 30*20 m

的小场地和 51*34 m 的大场地^[27],4~5 人制较其他人数的强度更高^[96],控球时间制胜较使用守门员、设置 2 个小门、在对方底线踩住球等规则的强度更高^[97],教练鼓励也可提高强度^[60]。所以教练员在使用 SSG 时可通过以上变量调节训练负荷。短间歇 HIIT 在内容和参数设置上需要具有更强的针对性,发展不同的身体素质在运动方式和时间配比上的倾向性也不同。例如同样是基于跑步的短间歇型 HIIT,发展 Pp 和无氧功可以使用 10~15 s 的工作期,强度可设置在极量强度,工作间歇比应不低于 1:1;若发展无氧耐力可以将工作期设置为 20~30 s,强度为次极量,工作间歇比不高于 1:1;若发展有氧能力,可将工作期设置为 35~45 s,工作间歇比可在 1:1.5~1:3。另一方面,在赛季中使用,应注意监控球员的疲劳反应。在青少年球员或个别对 HIIT 反应异常的球员中使用,应与其他训练方式组合。如心肺功能较低、对于高强度急性刺激不适应的球员,可补充 MICT 来提高心肺能力。爆发力下降可改变运动方式或补充超等长和抗阻训练来改善。

4 结论与展望

1) HIIT 可以提高球员的有氧和无氧代谢能力,但是 IAT 和 VO_{2max} 的改善受生理疲劳和总负荷量不足的影响存在个别异常,异常比例大于 HVT 小于 SSG,对有氧能力的提升幅度并不明显优于 HVT、CIET 和 MICT 等大负荷量训练,对无氧能力的提升和时效方面有明显优势;2) 可以提高球员的耐力素质,下肢爆发力、冲刺能力和灵敏能力受疲劳、心理压力、负荷强度不足、方案针对性和同期训练等多种因素影响存在分歧,before-PHV 年龄段训练效果受发育程度和生理机制的影响异质性较高;3) 对球员专项体能和技战术水平的提升效果低于 SSG;4) 以训练目的为导向灵活编辑训练方案,建议训练周期在 4 周以上,每周频率 2 次以上,强度不低于 85%HR_{max},并加入球的使用以增强技战术能力同时缓冲 TMD 水平的升高;5) 补充抗阻、超等长、速度和灵敏训练以预防潜在的相关身体素质水平下降风险。

HIIT 与传统大负荷量耐力训练在足球项目中应用效果的相关研究较少,二者对球员耐力素质的提高效果对比,以及对于其他身体素质的效果如何目前尚无定论。是否可以在 HIIT 的训练内容中融入抗阻、超等长、灵敏训练和有球练习等形式,融入后是否在强化球员心肺功能的同时还能提高其他身体素质和技战术能力,并且该效果与常规技战术训练和常规体能训练的差异如何目前缺乏参考依据。球员在训练时采用不同的组次、每组持续时间、工作期时间和总负荷量,以及采用不同的间歇形式后效果如何对完善 HIIT 的实际应用效果有现实意义,HIIT 不同参数的负荷强度与负荷量控制相关研究稀缺。球员进行 HIIT 时是否存在损伤风险,以及是否对后期的训练和比赛存在潜在的伤病影响相关研究空白。以上问题有待广大学者进一步深入研究。

参考文献:

- [1] VAN GOOL D, VAN GERVEN D, BOUTMANS J. The physiological load imposed on soccer players during real match-play[J]. Science and football, 1988, 1: 51-59.

- [2] BANGSBO J, MICHALSIK L. Assessment of the physiological capacity of elite soccer players[M]. Science and football IV, 2002: 53–62.
- [3] REILLY T, THOMAS V. A motion analysis of work rate in different positional roles in professional football match play[J]. Journal of Human Movement Studies, 1976, 2(2):87–97.
- [4] FAUDE O, KOCH T, MEYER T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football[J]. J Sports, 2012, 30(7):625–631.
- [5] BUCHHEITM, LAURSEND B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis [J]. Sports medicine, 2013, 43(5):313–338.
- [6] 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): 18.
- [7] FAUDE O, STEFFEN A, KELLMANN M, et al. The effect of short-term interval training during the competitive season on physical fitness and signs of fatigue: a crossover trial in high-level youth football players[J]. International journal of sports physiology and performance, 2014, 9(6): 936–944.
- [8] FAUDE O, SCHNITTKER R, SCHULTE-ZURHAUSEN R, et al. High intensity interval training vs. high-volume running training during pre-season conditioning in high-level youth football: a cross-over trial[J]. Journal of Sports Sciences, 2013, 31(13): 1441–1450.
- [9] WAHL P, GÜLDNER M, MESTER J. Effects and sustainability of a 13-day high-intensity shock microcycle in soccer[J]. Journal of sports science & medicine, 2014, 13(2): 259.
- [10] MORAN J, BLAGROVE R C, DRURY B, et al. Effects of Small-Sided Games vs. Conventional Endurance Training on Endurance Performance in Male Youth Soccer Players: A Meta-Analytical Comparison[J]. Sports Medicine, 2019, 49: 731–742.
- [11] KUNZ P, ENGEL F A, HOLMBERG H C, et al. A meta-comparison of the effects of high-intensity interval training to those of small-sided games and other training protocols on parameters related to the physiology and performance of youth soccer players [J]. Sports medicine-open, 2019, 5(1): 1–13.
- [12] CLEMENTE F M, RAMIREZ-CAMPILLO R, AFONSO J, et al. A meta-analytical comparison of the effects of small-sided games vs. running-based high-intensity interval training on soccer players' repeated-sprint ability[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2021, 18(5): 2781.
- [13] SPERLICH B, HOPPE M W, HAEGELE M. Endurance Exercise-High Volume vs. High-Intensity Interval Training in Soccer [J]. Deutsche Zeitschrift Für Sportmedizin, 2013, 64(1):10–17.
- [14] 姜哲, 陈亮, 师荣霞, 等. 高强度间歇训练对足球运动员体能应用效果的 Meta 分析[J]. 南京体育学院学报, 2022, 21(4):32–45.
- [15] MANUEL CLEMENTE F, RAMIREZ-CAMPILLO R, NAKAMURA F Y, et al. Effects of high-intensity interval training in men soccer player's physical fitness: A systematic review with meta-analysis of randomized-controlled and non-controlled trials[J]. Journal of Sports Sciences, 2021, 39(11): 1202–1222.
- [16] AZAD E F, ALEXANDER A, HAMDI C, et al. High-intensity interval training performed by young athletes: a systematic review and meta-analysis[J]. Frontiers in Physiology, 2018, 9:1012.
- [17] 郭春杰, 于亮. 足球专项灵敏: 训练方法及效果评价系统综述[J]. 体育科学, 2021, 41(8):87–97.
- [18] MICHAELIDIS Y, GANOTAKIS C, MOTSANOS N, et al. The effects of an HIIT program on young soccer players' physical performance[J]. International Journal of Sports Science & Coaching, 2023, 18(4): 1155–1163.
- [19] NOBARI H, SILVA A F, VALI N, et al. Comparing the physical effects of combining small-sided games with short high-intensity interval training or repeated sprint training in youth soccer players: A parallel-study design[J]. International Journal of Sports Science & Coaching, 2023, 18(4): 1142–1154.
- [20] ARSLAN E, KILIT B, CLEMENTE F M, et al. The effects of exercise order on the psychophysiological responses, physical and technical performances of young soccer players: combined small-sided games and high-intensity interval training[J]. Biology, 2021, 10(11): 1180.
- [21] FANG B, KIM Y, CHOI M. Effect of Cycle-Based High-Intensity Interval Training and Moderate to Moderate-Intensity Continuous Training in Adolescent Soccer Players[C]//Healthcare. MDPI, 2021, 9(12): 1628.
- [22] CAMPOS F S, BORSZCZ F K, FLORES L J F, et al. HIIT Models in Addition to Training Load and Heart Rate Variability Are Related With Physiological and Performance Adaptations After 10-Weeks of Training in Young Futsal Players[J]. Frontiers in Psychology, 2021. DOI: 10.3389/fpsy.2021.636153.
- [23] KELLY D T, CREGG C J, O'CONNOR P L, et al. Physiological and performance responses of sprint interval training and endurance training in Gaelic football players[J]. European Journal of Applied Physiology, 2021, 121(8): 2265–2275.
- [24] ALIBERTI S, CALANDRO A, ESPOSITO G, et al. Three workouts compared: interval training, intermittent training and steady state training for the improvement of $\dot{V}O_{2max}$ and BMI[J]. SPORTS SCIENCE AND HEALTH, 2021, 22(2): 197–204.
- [25] ARSLAN E, ORER G, CLEMENTE F. Running-based high-intensity interval training vs. small-sided game training programs: effects on the physical performance, psychophysiological responses and technical skills in young soccer players[J]. Biology of sport, 2020, 37(2): 165–173.
- [26] DOLCI F, KILDING A E, SPITERI T, et al. High-intensity Interval Training Shock Microcycle Improves Running Performance but not Economy in Female Soccer Players[J]. International Journal of Sports Medicine, 2021, 42(08): 740–748.
- [27] MASSAMBA A, DUFOUR S P, FAVRET F, et al. Small-sided games are not as effective as intermittent running to stimulate aerobic metabolism in prepubertal soccer players[J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2020, 16(2): 273–279.
- [28] NICOLÒ A, MONTINI M, GIRARDI M, et al. Respiratory frequency as a marker of physical effort during high-intensity interval training in soccer players[J]. International journal of sports physiology and performance, 2020, 15(1): 73–80.
- [29] LEE K H, LEE K, YONG C C. Very Short-Term High-Intensity Interval Training in High School Soccer Players[J]. Journal of Men's Health, 2020, 16(2):e1–e8.
- [30] SELMI O, OUERGUI I, LEVITT D E, et al. Small-Sided Games are More Enjoyable Than High-Intensity Interval Training of Similar Exercise Intensity in Soccer[J]. Open Access Journal of Sports Medicine, 2020. DOI: 10.2147/OAJSM.S244512.
- [31] HOSTRUP M, GUNNARSSON T P, FIORENZA M, et al. In - sea-

- son adaptations to intense intermittent training and sprint interval training in sub - elite football players[J]. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2019, 29(5): 669-677.
- [32] RABBANI A, CLEMENTE F M, KARGARFARD M, et al. Combined small - sided game and high-intensity interval training in soccer players: The effect of exercise order[J]. Journal of Human Kinetics, 2019, 69(1): 9-257.
- [33] RUNACRES A, MACKINTOSH K A, MCNARRY M A. The effect of constant-intensity endurance training and high-intensity interval training on aerobic and anaerobic parameters in youth[J]. Journal of sports sciences, 2019, 37(21): 2492-2498.
- [34] BARAHONA-FUENTES G D, HUERTA OJEDA Á, GALDAMES MALIQUEO S. Influencia de la pliometría basada en un Entrenamiento Intervalado de Alta Intensidad sobre la altura de salto y pico de potencia en futbolistas Sub-17[J]. Educación Física y Ciencia, 2019, 21(2): 80-80.
- [35] STOJILJKOVIC N, GUSIC M, MOLNAR S. Small-sided games versus interval training in adolescent soccer players: effects on speed, change of direction speed and jumping performance[J]. Homo Sporticus, 2019(2): 55.
- [36] SELMI O, HADDAD M, MAJED L, et al. Soccer training: high-intensity interval training is mood disturbing while small sided games ensure mood balance[J]. The Journal of sports medicine and physical fitness, 2017, 58(7-8): 1163-1170.
- [37] POULOS S, ZACHAROGIANNIS E, PARADISIS G, et al. High Intensity Interval Training Does Not Improve Cardiorespiratory Parameters in Trained Young soccer Players[J]. Journal of Exercise Physiology Online, 2018, 21(3): 34-45.
- [38] RAMIREZ J M, NUNEZ V M, LANCHO C, et al. A speed - endurance training to improve aerobic, anaerobic capacity, and fat oxidation of four groups of athletes[J]. Medicina dello Sport, 2017, 70(3): 266-81.
- [39] HOWARD N, STAVRIANEAS S. In-season high-intensity interval training improves conditioning in high school soccer players[J]. International journal of exercise science, 2017, 10(5): 713.
- [40] ARAZI H, KEIHANIYAN A, EATEMADYBOROUJENI A, et al. Effects of heart rate vs. speed-based high intensity interval training on aerobic and anaerobic capacity of female soccer players [J]. Sports, 2017, 5(3): 57.
- [41] WRIGHT M D, HURST C, TAYLOR J M. Contrasting effects of a mixed-methods high-intensity interval training intervention in girl football players[J]. Journal of Sports Sciences, 2016, 34(19): 1808-1815.
- [42] TAYLOR J M, MACPHERSON T W, MCLAREN S J, et al. Two weeks of repeated-sprint training in soccer: To turn or not to turn? [J]. International journal of sports physiology and performance, 2016, 11(8): 998-1004.
- [43] JASTRZEBSKA M, KACZMARCZYK M, JASTRZEBSKI Z. Effect of vitamin D supplementation on training adaptation in well-trained soccer players[J]. Journal of strength and conditioning research, 2016, 30(9): 2648-2655.
- [44] LOS ARCOS A, VÁZQUEZ J S, MARTÍN J, et al. Effects of small-sided games vs. interval training in aerobic fitness and physical enjoyment in young elite soccer players[J]. PloS one, 2015, 10(9). DOI: 10.1371/journal.pone.0137224.
- [45] JASTRZEBSKI Z, BARNAT W, DARGIEWICZ R, et al. Effect of in-season generic and soccer-specific high-intensity interval training in young soccer players[J]. International Journal of Sports Science & Coaching, 2014, 9(5): 1169-1179.
- [46] BIERI K, GROSS M, WACHSMUTH N, et al. HIIT in Young Soccer Players-Block Periodization of High-Intensity Aerobic Interval Training[J]. DEUTSCHE ZEITSCHRIFT FUR SPORTMEDIZIN, 2013, 64(10): 307-312.
- [47] KARAHAN M. The effect of skill-based maximal intensity interval training on aerobic and anaerobic performance of female futsal players[J]. Biology of sport, 2012, 29(3): 223-227.
- [48] SPERLICH B, DE MARÉES M, KOEHLER K, et al. Effects of 5 weeks of high-intensity interval training vs. volume training in 14-year-old soccer players[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2011, 25(5): 1271-1278.
- [49] SJÖKVIST J, LAURENT M C, RICHARDSON M, et al. Recovery from high-intensity training sessions in female soccer players [J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2011, 25(6): 1726-1735.
- [50] WONG P, CHAOUACHI A, CHAMARI K, et al. Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2010, 24(3): 653-660.
- [51] BRAVO D F, IMPELLIZZERI F M, RAMPININI E, et al. Sprint vs. interval training in football[J]. International journal of sports medicine, 2008, 29(8): 668-674.
- [52] 陈梓豪. HIIT 训练对大学生高水平女子足球运动员有氧耐力影响的研究[D]. 东北师范大学, 2020.
- [53] STÖGGL T, STIEGLBAUER R, SAGEDER T, et al. hochintensives Intervall-(HIT) und Schnelligkeitstraining im Fußball [J]. Leistungssport, 2010, 40(5): 43-49.
- [54] SCHMIDT W, PROMMER N. Effects of various training modalities on blood volume[J]. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 2008, 18: 57-69.
- [55] SVEAAS S H, BILBERG A, BERG I J, et al. High intensity exercise for 3 months reduces disease activity in axial spondyloarthritis (axSpA): a multicentre randomised trial of 100 patients[J]. British journal of sports medicine, 2020, 54(5): 292-297.
- [56] MARTLAND R, MONDELLI V, GAUGHRAN F, et al. Can high-intensity interval training improve physical and mental health outcomes? A meta-review of 33 systematic reviews across the lifespan [J]. Journal of Sports Sciences, 2020, 38(4): 430-469.
- [57] ISSURIN V. Block periodization versus traditional training theory: a review[J]. Journal of sports medicine and physical fitness, 2008, 48(1): 65.
- [58] RAMOS J S, DALLECK L C, TJONNA A E, et al. The impact of high-intensity interval training versus moderate-intensity continuous training on vascular function: a systematic review and meta-analysis[J]. Sports medicine, 2015, 45: 679-692.
- [59] 漆正堂, 邹勇, 丁树哲. 线粒体异质性比“多少”更重要: 运动促进线粒体生物发生的起因、风险与科学范式的思考[J]. 体育科学, 2021, 41(9): 57-71+79.
- [60] GRANATA C, JAMNICK N A, BISHOP D J. Principles of exercise prescription, and how they influence exercise-induced changes of transcription factors and other regulators of mitochondrial biogenesis

- [J]. Sports Medicine, 2018, 48(7): 1541–1559.
- [61] HILL-HAAS S V, DAWSON B, IMPELLIZZERI F M, et al. Physiology of small-sided games training in football[J]. Sports medicine, 2011, 41(3): 199–220.
- [62] 李晓康, 潘春光, 刘浩. 中超联赛各比赛位置球员跑动距离及强度特征研究[J]. 北京体育大学学报, 2016, 39(3): 130–136.
- [63] LOGAN G R M, HARRIS N, DUNCAN S, et al. A review of adolescent high-intensity interval training[J]. Sports Medicine, 2014, 44(8): 1071–1085.
- [64] CUNHA G, LORENZI T, SAPATA K, et al. Effect of biological maturation on maximal oxygen uptake and ventilatory thresholds in soccer players: an allometric approach[J]. Journal of sports sciences, 2011, 29(10): 1029–1039.
- [65] DOS SANTOS CUNHA G, VAZ M A, GEREMIA J M, et al. Maturity Status Does Not Exert Effects on Aerobic Fitness in Soccer Players After Appropriate Normalization for Body Size[J]. Pediatric exercise science, 2016, 28(3): 456–465.
- [66] 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(06): 483–492.
- [67] ROWAN A E, KUEFFNER T E, STAVRIANEAS S. Short duration high-intensity interval training improves aerobic conditioning of female college soccer players[J]. International Journal of Exercise Science, 2012, 5(3): 6.
- [68] MASSICOTTE D R, MACNAB R B. Cardiorespiratory adaptations to training at specified intensities in children[J]. Medicine and science in sports, 1974, 6(4): 242–246.
- [69] NYBO L, SUNDSTRUP E, JAKOBSEN M D, et al. High-intensity training versus traditional exercise interventions for promoting health [J]. Med Sci Sports Exerc, 2010, 42(10): 1951–1958.
- [70] SULTANA R N, SABAG A, KEATING S E, et al. The effect of low-volume high-intensity interval training on body composition and cardiorespiratory fitness: a systematic review and meta-analysis [J]. Sports Medicine, 2019, 49: 1687–1721.
- [71] WEN D, UTESCH T, WU J, et al. Effects of different protocols of high intensity interval training for $\dot{V}O_{2\max}$ improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials[J]. Journal of science and medicine in sport, 2019, 22(8): 941–947.
- [72] OLNEY N, WERTZ T, LAPORTA Z, et al. Comparison of acute physiological and psychological responses between moderate-intensity continuous exercise and three regimes of high-intensity interval training[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2018, 32(8): 2130–2138.
- [73] 胡国鹏, 郑阳, 孟妍, 等. 大强度间歇训练与中等强度持续训练对耗氧量动力学特征影响的比较研究[J]. 体育科学, 2017, 37(3): 58–67+97.
- [74] 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.
- [75] WOOD G, MURRELL A, TOUW T V D, et al. HIIT is not superior to MICT in altering blood lipids: a systematic review and meta-analysis [J]. BMJ Open Sport & Exercise Medicine, 2019, 5(1). DOI: 10.1136/bmjsem-2019-000647.
- [76] CAVAR M, MARSIC T, CORLUKA M, et al. Effects of 6 weeks of different high-intensity interval and moderate continuous training on aerobic and anaerobic performance[J]. The Journal of Strength & Conditioning Research, 2019, 33(1): 44–56.
- [77] KRAEMER W J, FRENCH D N, PAXTON N J, et al. Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters[J]. Journal of strength and conditioning research, 2004, 18(1): 121–128.
- [78] COUTTS A, REABURN P, PIVA T J, et al. Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players [J]. International journal of sports medicine, 2007, 28(2): 116–124.
- [79] FAUDE O, KELLMANN M, AMMANN T, et al. Seasonal changes in stress indicators in high level football[J]. International journal of sports medicine, 2011, 32(4): 259–265.
- [80] DUDLEY G A, DJAMIL R. Incompatibility of endurance -and strength-training modes of exercise[J]. Journal of applied physiology, 1985, 59(5): 1446–1451.
- [81] 刘瑞东, 曹春梅, 刘建秀, 等. 高强度间歇训练的应用及其适应机制[J]. 体育科学, 2017, 37(7): 10.
- [82] HENNEMAN E, CLAMANN H P, GILLIES J D, et al. Rank order of motoneurons within a pool: law of combination[J]. Journal of neurophysiology, 1974, 37(6): 1338–1349.
- [83] SCHIAFFINO S, REGGIANI C. Fiber types in mammalian skeletal muscles[J]. Physiological reviews, 2011, 91(4): 1447–1531.
- [84] LINOSSIER M T, DENIS C, DORMOIS D, et al. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme[J]. European journal of applied physiology and occupational physiology, 1993, 67(5): 408–414.
- [85] IMPELLIZZERI F M, RAMPININI E, CASTAGNA C, et al. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players[J]. British journal of sports medicine, 2008, 42(1): 42–46.
- [86] BUCHHEIT M, 黎涌明, 李海鹏, 等. 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[J]. 体育科研, 2021, 42(6): 2–8.
- [87] FAWKNER S G, ARMSTRONG N, POTTER C R, et al. Oxygen uptake kinetics in children and adults after the onset of moderate-intensity exercise[J]. Journal of sports sciences, 2002, 20(4): 319–326.
- [88] BOISSEAU N, DELAMARCHE P. Metabolic and hormonal responses to exercise in children and adolescents[J]. Sports Medicine, 2000, 30(6): 405–422.
- [89] MEEUSEN R, DUCLOS M, FOSTER C, et al. Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM)[J]. European Journal of Sport Science, 2013, 13(1): 1–24.
- [90] OLIVER J L, LLOYD R S, RUMPF M C. Developing speed throughout childhood and adolescence: the role of growth, maturation and training[J]. Strength & Conditioning Journal, 2013, 35(3): 42–48.
- [91] HELGERUD J, ENGEN L C, WISLØFF U, et al. Aerobic endurance training improves soccer performance[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2001, 33(11): 1925–1931.
- [92] 许光发, 陶煌成. 高强度间歇性训练对高中足球运动员技战术促进的效果分析[J]. 体育师友, 2019, 42(1): 4.

- [93] CHAMARI K, HACHANA Y, KAOUECH F, et al. Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players[J]. British journal of sports medicine, 2005, 39(1): 24-28.
- [94] BUCHHEIT M, LAURSEN P. Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle[M]. Champaign, IL: Human Kinetics, 2019.
- [95] BUJALANCE-MORENO P, LATORRE-ROMÁN P Á, GARCÍA-PINILLOS F. A systematic review on small-sided games in football players: Acute and chronic adaptations[J]. Journal of sports sciences, 2019, 37(8): 921-949.
- [96] 陈亮,李荣.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,2017(6):520-528.
- [97] 韦理鹏.小场地足球比赛对专项体能影响研究:系统评价、影响因素及研究展望[J].成都体育学院学报,2020,46(6):113-119.

(上接第22页)

- [2] 刘德新,李少龙,任保国.《全民健身计划》实施目标下构建公共体育服务保障体系的研究[J].北京体育大学学报,2013,36(3): 23-28.
- [3] 朱毅然,刘安国,孙晋海.政府购买公共体育服务保障机制研究[J].西安体育学院学报,2020,37(5):568-574.
- [4] 王春顺,向祖兵,李国泰.社会组织承接政府购买公共体育服务的路径与策略[J].体育科学,2019,39(8):87-97.
- [5] 路伟尚.高校承接政府购买公共体育服务的社会供给研究[J].广州体育学院学报,2021,41(4):19-22.
- [6] 满江虹.体育企业参与政府购买公共服务的模式[J].上海体育学院学报,2017,41(6):47-53.
- [7] 张佃波.社会力量参与全民健身公共服务供给:现实审视与实践路径[J].体育文化导刊,2022(2):63-68.
- [8] 刘玉.改革开放30年我国体育公共服务供给模式转型与现实选择[J].体育科学,2013(2):11-21.
- [9] 李震,陈元欣,刘倩.政府购买公共体育服务研究:以武汉市政府购买游泳服务为个案[J].武汉体育学院学报,2014,48(7):36-40.
- [10] 丛湖平,卢伟.政府购买公共体育服务的模式、问题及建议:基于苏、浙、沪、粤等省市的调研[J].体育科学,2016,36(12):11-17.
- [11] 叶松东,杜高山.北京市体育社团承接政府购买体育公共服务的研究[J].体育学刊,2017,24(3):67-71.
- [12] 李乐虎,高奎亭,黄晓丽.我国政府购买公共体育服务质量制约与保障路径[J].体育文化导刊,2019(7):30-36.
- [13] 朱毅然.美国政府购买公共体育服务的经验与我国路径推进[J].西安体育学院学报,2019,36(5):513-519.
- [14] 马德浩.跨域治理:我国区域公共体育服务协调发展的新路径[J].体育学刊,2019,26(6):63-68.
- [15] 史小强,戴健.“十四五”时期我国全民健身发展的形势要求、现实基础与目标举措[J].体育科学,2021,41(4):3-13+59.
- [16] 黄程程.我国城乡公共体育服务均等化发展的制约因素及路径选择[J].体育文化导刊,2018(12):45-49.
- [17] 赵广涛.新发展理念下城乡体育公共服务均等化价值与策略[J].体育文化导刊,2022(2):48-55.
- [18] 丘大为.乡村振兴背景下城乡公共体育服务均等化研究[J].云南行政学院学报,2020,22(3):166-170.
- [19] 花楷,刘志云.财政转移支付:体育公共服务均等化的逻辑、困境与路径[J].天津体育学院学报,2016,31(4):283-286+309.
- [20] 杨阳,梁徐静.“互联网+”时代实现体育公共服务均等化的路径研究[J].广州体育学院学报,2019,39(1):10-12+48.
- [21] 郑家骥,冯俊翔.以标准化促进均等化:基本公共体育服务的发展路向[J].武汉体育学院学报,2023,57(6):5-11.
- [22] 王家宏,李燕领,陶玉流.我国公共体育服务体系:过程结构与功能定位[J].北京体育大学学报,2014,37(7):1-7.
- [23] 徐瑶.新时期我国体育公共服务体系发展策略研究[J].广州体育学院学报,2020,40(1):18-22.
- [24] 刘晓艳,闫静.我国公共体育服务研究路径的逻辑分析[J].体育文化导刊,2016(5):10-13.
- [25] 朱征宇,付强.我国区域公共体育服务体系构建的理论分析[J].广州体育学院学报,2011,31(5):6-9.
- [26] 王占坤.发达国家公共体育服务体系建设经验及对我国的启示[J].体育科学,2017,37(5):32-47.
- [27] 李燕领,刘畅,邱鹏,等.我国31个省级政府公共体育服务效率评价及影响因素研究[J].天津体育学院学报,2018,33(4):305-310.
- [28] 袁春梅.我国体育公共服务效率评价与影响因素实证研究[J].体育科学,2014,34(4):3-10.
- [29] 李欣,刘雨.基于DEA-Tobit模型的成都平原城市群公共体育服务效率评估[J].成都体育学院学报,2017,43(5):27-32.
- [30] 宋娜梅,罗彦平,郑丽.体育公共服务绩效评价:指标体系构建与评分计算方法[J].体育与科学,2012,33(5):30-34.
- [31] 吕宁,徐建荣.新时代公共体育服务:碎片化供给与整体性治理[J].广州体育学院学报,2022,42(2):121-128.
- [32] 唐刚,彭英.多元主体参与公共体育服务治理的协同机制研究[J].体育科学,2016,36(3):10-24.
- [33] 张文静,沈克印.数字赋能:体育公共服务整体性治理的运行机制与实施策略[J].武汉体育学院学报,2022,56(7):13-21.
- [34] 朱峰,张德利,尹维增,等.数字赋能高质量城市社区公共体育服务供给的路径研究[J].体育与科学,2023,44(4):101-107+120.
- [35] 耿轩.全民健身公共服务精准化供给研究[J].湖北体育科技,2023,42(10):917-921.
- [36] 冯维胜,曹可强.公共体育服务与体育产业的作用机理:基于替代效应和收入效应的分析[J].沈阳体育学院学报,2016,35(6):1-5+13.