

高强度间歇训练和持续有氧训练对健康及肥胖青少年身体成分与心肺适能影响的 Meta 分析

周海旭

摘要: 运用 Meta 分析方法系统评价高强度间歇训练(HIIT)和持续有氧训练(CAT)对青少年的身体成分与心肺适能的不同影响效果,为设计青少年锻炼方案提供有效参考依据。共纳入 14 篇符合纳入标准的文献,以 PRISMA 声明的标准对 14 篇文献进行偏倚风险质量评价。结果:(1)HIIT 与 CAT 对青少年体重和 BMI 的干预效果在统计学上无显著性差异,对体脂率的干预效果存在显著性差异;(2)HIIT 与 CAT 对青少年最大摄氧量(VO_{2max})、峰值摄氧量(VO_{2peak})、收缩压(SBP)和舒张压(DBP)的干预效果在统计学上无显著性差异,但 HIIT 对青少年 VO_{2max} 、 VO_{2peak} 和 DBP 总体效应量优于 CAT,CAT 对青少年 SBP 的总效应量优于 HIIT;(3) 其中将青少年分为健康和肥胖两个亚组,健康青少年亚组中,CAT 对体重、体脂率、BMI 和 SBP 等指标的干预效果优于 HIIT,HIIT 对 VO_{2max} 和 DBP 的干预效果优于 CAT;肥胖青少年亚组中,HIIT 对体重、体脂率、BMI、 VO_{2max} 和 DBP 等指标的干预效果优于 CAT,HIIT 与 CAT 对健康青少年 SBP 的干预效果类似。

关键词: 高强度间歇训练;持续有氧训练;身体成分;心肺适能;青少年;肥胖

中图分类号:G804 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2021)01-0077-09

DOI:10.12064/ssr.20210111

Effects of High-intensity Interval Training and Continuous Aerobic Training on Body Composition and Cardiorespiratory Fitness of Healthy and Obese Adolescents: A Meta Analysis

ZHOU Haixu

(Jilin Sport University, Changchun 130022, China)

Abstract: Meta-analysis was used to systematically evaluate the effects of high-intensity interval training (HIIT) and continuous aerobic training (CAT) on adolescents' body composition and cardiopulmonary fitness in order to provide effective reference for designing adolescent exercise program. A total of 14 articles meeting the research criteria were included, and the risk of bias assessment was performed for the 14 articles according to the criteria stated by PRISMA. The results were as follows: (1) There was no statistically significant difference in the intervention effects of HIIT and CAT on adolescent body weight and BMI, but there were significant differences in the intervention effects on body fat rate. (2) There was no statistically significant difference in the intervention effects of HIIT and CAT on adolescent VO_{2max} , VO_{2peak} , SBP and DBP, but the overall effect of HIIT on adolescent VO_{2max} , VO_{2peak} and DBP was better than CAT, and the overall effect of CAT on adolescent SBP was better than HIIT. (3) The adolescents were divided into healthy and obese subgroups. In the healthy subgroup, the intervention effect of CAT on body weight, body fat rate, BMI and SBP was better than HIIT, and the intervention effect of HIIT on VO_{2max} and DBP was better than CAT. In the obese subgroup, the intervention effect of HIIT on body weight, body fat rate, BMI, VO_{2max} and DBP was better than CAT. HIIT and CAT had similar intervention effects on SBP in healthy adolescents.

Key Words: high-intensity interval training; continuous aerobic training; body composition; cardiopulmonary fitness; adolescents; obesity

收稿日期:2020-03-02

作者简介:周海旭,男,在读硕士研究生。主要研究方向:运动训练。E-mail:zhouhaixu2018@163.com。

作者单位:吉林体育学院,吉林 长春 130022。



《中国青少年体育发展报告(2017)》中提出近30年中国青少年身体素质一直在不断下滑。《体育强国建设纲要》中明确指出提高青少年身体素质和养成健康生活方式是当前体育教育的重点内容。因此如何让青少年通过高效的体育锻炼提高体质,是亟需解决的问题^[1]。当前青少年主流锻炼方式为持续有氧运动(Continuous Aerobic Training, CAT),每次运动时间小于60 min,每周运动2~4次,但CAT需要花费更多的时间和精力才能达到一定的锻炼效果,因此省时高效的高强度间歇训练(High-Intensity Interval Training, HIIT)在青少年健康促进方面得到了极大的关注^[2]。HIIT指以大于或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,且每两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^[3]。HIIT因其运动持续时间长,运动强度大的特点,相比于CAT更具有吸引力且更容易形成锻炼习惯。当前HIIT被广泛地应用于普通人群和慢性病群体改善身体健康状况,被认为是一种新兴的有效身体锻炼方式^[4]。因此传统的CAT与HIIT对青少年锻炼效果的差异成为当前学界关注的热点,但目前国内HIIT被应用于青少年身体锻炼的研究还十分有限,国外相关研究则比较成熟。基于此,研究将选取国内外HIIT和CAT对青少年身体成分及心肺适能影响的文献进行Meta分析,以期厘清HIIT和CAT在青少年群体的最新应用成果、方式及可行性。

1 研究方法

1.1 检索策略

按照系统综述和Meta分析首选报告的条目(PRISMA)规定流程进行^[5],对高强度间歇训练对健康青少年身体成分及心肺适能干预效果的随机对照实验和非随机对照实验进行检索,文献检索和筛选方案为预先制定。在中国知网(CNKI)、PubMed、Web of Science、SPORTDiscus、ScienceDirect数据库中检索文献,以高强度间歇训练(“high-intensity interval training”“high-intensity intermittent training”“high-intensity interval exercise”“sprint interval training”“HIIT”“HIIE”“HIT”“SIT”)、持续有氧训练(“continuous aerobic training”“continuous aerobic exercise”“continuous endurance training”“continuous endurance exercise”“aerobic endurance training”“aerobic exercise”“endurance training”“CAT”“AET”“ET”)、青少年(“adolescen”“teen*”“youth”“child”“children”“paedi-

atric”“pediatric”“adolescen*”“juvenile*”)等为检索词进行检索。最后一次检索日期为2019年11月,以追溯法保证查找文献的查全率。根据PRISMA声明中第8条文献检索规定,选择SPORTDiscus数据库说明检索策略使用和检索结果^[4]。

1.2 纳入和排除标准

纳入标准:(1)实验设计为随机试验或非随机对照实验;(2)受试者为健康青少年,年龄为8~17岁;(3)干预措施为HIIT和CAT;(4)结局指标为身体成分(体重、BMI、体脂率等)和心肺适能相关指标[最大摄氧量(VO_{2max})、峰值摄氧量(VO_{2peak})、收缩压(Systolic Blood Pressure, SBP)、舒张压(Diastolic Blood Pressure, DBP)];(5)纳入文献以中文或英文为撰写语言。

排除标准:(1)干预手段不包含HIIT和CAT;(2)结局指标中不包含心肺适能相关指标;(3)受试者患有慢性病或为特殊人群;(4)受试者年龄小于8岁或超过17岁;(5)组间结局指标基线值存在显著性差异;(6)结合其他手段共同进行干预。

1.3 文献筛选与质量评价

文献检索与筛选由两名研究人员进行,根据文献纳入与排除标准,独立完成文献的初筛和全文筛选,将结果进行比对和讨论,产生不同意见时由第3名研究人员介入,以小组讨论的方式决定是否纳入该文献。纳入文献的方法学质量评价根据PRISMA声明^[6]设计的8个偏倚风险评估项目进行文献质量评估:(1)明确的纳入标准;(2)是否采用随机分组;(3)组间基线值无显著性差异;(4)对结果评价实施盲法;(5)受试者均按照方案接受干预;(6)说明受试者退出或缺失情况,缺失比例小于20%;(7)计算样本量,且受试者人数满足样本量需求;(8)对各分组的结果、效应量、精确度进行报告。两名研究者对每篇纳入文献进行偏倚风险评估。

1.4 数据提取

由上述的两名研究人员分别对纳入的文献进行全面的阅读,提取系统评价所需指标,并对结果进行比较与分析,存在争议时由第3名研究人员介入讨论并做出最终决定。提取文献信息包括:作者姓名、样本特征、分组、研究时间、各分组的样本量、干预方案、干预周期、干预频率以及结局指标。

1.5 统计学分析

运用Revman5.3软件进行异质性检验、数据合并、亚组分析,绘制森林图和漏斗图。研究纳入的结

局指标为连续性变量,对提取的数据效应指标进行合并分析,使用加权标准差(Weight Mean Difference, WMD)或标准均数差(Standardized Mean Differences, SMD)表示,并计算其95%可信区间(CI)作为结果的效应尺度,根据结局指标评价标准的差异以及结局指标评价单位一致情况来选择WMD和SMD进行分析。以Q统计量和I²统计量进行异质性检验,森林图中“Chi”代表Q统计量结果,“I²”值代表I²统计量。使用Q检验时,如果P<0.10可认为存在异质性;使用I²统计量时,I²≤25%代表不存在异质性,25%<I²≤50%代表轻度异质性,50%<I²≤75%为中度异质性,I²>75%代表高度异质性。当异质性I²≥50%时,纳入文献之间存在异质性,采用随机效应模型合并数据,当I²≥75%时,表明纳入文献结果之间存在较大异质性,进行亚组分析和敏感性分析对异质性产生原因进行深入分析,反之若异质性I²≤50%,采用固定效应模型^[6]。本文的发表偏倚通过漏斗图检验,Cochrane系统评价手册中提出漏斗图允许系统评价者进行目测评估,判断一篇Meta分析是否存在小样本研究效应,对于以均数差表示干预措施疗效的连续性结局指标,漏斗图及漏斗图不对称的统计检验是有效的^[7]。敏感性分析首先通过采用固定效应模型代替随机效应模型,观测效应量等结果是否一致;其次,通过每次去除1篇纳入文献,检测单篇文献是否显著影响合并效应量。本文使用Revman5.3和Excel软件对数据进行处理,文中所有统计学分析结果均使用双侧检验,除异质性Q统计量取P<0.1为显著性水平,其余统计量检验均已P<0.05为有统计学差异。

2 文献纳入及质量评价

2.1 文献检索及筛选情况

通过数据库检索和追溯相关文章参考文献所得

相关文献共292篇,根据纳入和排除标准,通过阅读摘要和全文,最终排除278篇文献,纳入14篇文献,文献筛选过程如图1所示。

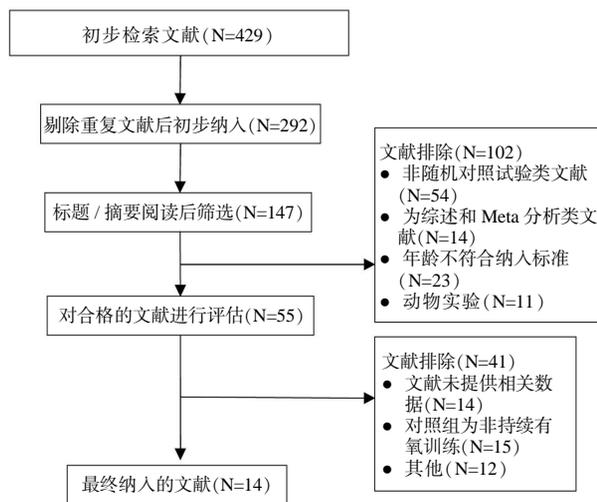


图1 文献筛选流程

Figure1 Literature Screening Process

2.2 文献提取结果

根据Cochrane手册中的建议,分别提取文献的作者名称、样本特征、分组、研究样本量、干预方案、干预频率、干预周期及结局指标,其中结局指标只提取本研究需要的相关指标。最终纳入14篇文献(表1),其中Kargarfard*等^[8]分别对20名正常体重和20名肥胖青少年进行随机对照实验,讨论HIIT与CAT对肥胖青少年与正常体重青少年身体成分及心肺适能的干预情况,因此在文献纳入时将其拆分为两份研究报告。纳入的剩余14篇文献中,实验对象为肥胖和正常体重青少年的文献各有7篇。纳入的14篇文献HIIT组样本量为201人,CAT组样本量为180人。

表1 符合纳入标准的文献基本特征

Table1 Basic Characteristics of the Articles Included in the Study

研究名称	样本特征	分组	样本量	干预方案	干预频率	干预周期	结局指标
Banquet等 ^[9]	青少年(N=53) 30名女生 8~11岁	HIIT	33	间歇训练4×10×(10~20s), 间歇10~20s, 强度(100%~130%MAS), 训练时间共30min	2次/周	7周	体重、体脂率、VO _{2peak}
		CAT	20	有氧持续训练, 强度50%~70%MAS, 训练时间30min	2次/周	7周	
Banquet等 ^[10]	青春期青少年(N=41) 23名男生 8~11岁	HIIT	22	快速跑2×4(10次×10s)、4×(5次×20s)、10次×15s, 强度(110%~130%MAS), 中间间歇25~30s	3次/周	7周	体重、BMI、体脂率、VO _{2max}
		CAT	22	60min体育课, 其中包含6km/h持续21min的运动, 每1min后增加0.5km/h直至8km/h, 强度<100%MAS	3次/周	7周	



续表 1

研究名称	样本特征	分组	样本量	干预方案	干预频率	干预周期	结局指标
Boddy 等 ^[11]	青春期女生(N=16) 11~12岁	HIIT	8	6×30 s 高强度舞蹈训练(基本健美操/舞蹈动作)、中间间歇 45 s	4次/周	3周	BMI、体重、 VO _{2max}
		CAT	8	以 5 km/h 速度跑步,训练时长 36 min	4次/周	3周	
Sandbakk 等 ^[3]	青少年(N=15) 男生 10 名 (17.4±0.5)岁	HIIT	7	热身持续训练 5~10 min,(强度 85%~92% HR _{max});间歇训练 1~5 min,中间间歇 30 s,训练 3~4 次(强度>92% HR _{max})	4次/周	8周	VO _{2max}
		CAT	8	持续训练 90~180 min(强度 60%~74% VO _{2max});75%~84% HR _{max} 强度的运动,60~120 min(滑雪滑冰、撑杆跑)	4次/周	8周	
Araujo 等 ^[13]	肥胖/超重青少年(N=30) 8~12岁	HIIT	15	冲刺运动 60 s(强度 100% HR _{max}),每次中间间歇 3 min 以 50%的冲刺速度进行恢复训练,训练 3~6 次,训练时长 30~60 min	2次/周	12周	体重、BMI、体脂率、SBP、DBP、 VO _{2max}
		CAT	15	30~60 min 的持续性运动,强度控制在 80% HR _{max}	2次/周	12周	
Koubba 等 ^[14]	肥胖青少年(N=29) 12~14岁	HIIT	15	(2min 高强度训练+1min 间歇)/次×10 组,强度 80% VO _{2max} ,训练时间 30~40 min	3次/周	12周	体重、BMI、SBP、 DBP、VO _{2max}
		CT	14	1~4 周连续训练,强度为 60% v VO _{2max} ;5~8 周连续训练,强度为 65% v VO _{2max} ,9~12 周持续训练 70% v VO _{2max}	3次/周	12周	
Starkoff 等 ^[15]	肥胖青少年(N=27) 女 17 人,男 10 人 13~17岁	HIIT	14	(2min 高强度训练+1min 间歇)/次×10 组,强度 90%~95% VO _{2max} ,训练时间 30 min	3次/周	6周	体重、BMI、体脂率、VO _{2max}
		ET	13	持续训练 30 min,强度 65%~70% VO _{2max}	3次/周	6周	
Murphy 等 ^[16]	肥胖青少年(N=18) 12~18岁	HIIT	10	10 次持续 1 min 的剧烈运动,强度(80%~90%)HR _{max} ,间歇活动 2 min 强度为 60%HR _{max} ,练时长 30 min	3次/周	4周	体重、BMI、VO _{2max} 、 去脂体重 SBP、 DBP
		ET	8	65% VO _{2max} 强度持续 30 min 有氧运动	3次/周	4周	
Kappensein 等 ^[17]	青少年(N=32) 8~11岁	HIIT	16	间歇跳跃及 20 m 冲刺 (5~15 s)×14 次,间歇 45 s,训练时长 30 min	2次/周	10周	体重、BMI、体脂率、VO _{2max}
		CAT	16	持续 45 min 的运动,强度为 78% HR _{max}	2次/周	10周	
Cockcroft 等 ^[18]	青少年(N=18) 14~15岁	HIIT	9	90% VO _{2peak} 功率自行车骑行 1 min,间歇 1.25 min,重复 8 次	1次/周	4周	VO _{2max}
		CAT	9	78% VO _{2max} 持续有氧运动,45 min	1次/周	4周	
Kargarfard* 等 ^{[18]①}	青少年(N=20) 8~11岁	HIIT	10	(80%~95%)HR _{max} 5~6 次×(3~5 min)快速跑,间歇 3~5 min	3次/周	8周	体重、BMI、VO _{2max} 、 SBP、DBP
		ET	10	(60%~70%)HR _{max} 连续跑 50~60 min	3次/周	8周	
Kargarfard* 等 ^{[18]②}	肥胖青少年(N=20) 8~11岁	HIIT	10	(80%~95%)HR _{max} 5~6 次×(3~5 min)快速跑,间歇 3~5 min	3次/周	8周	体重、BMI、VO _{2max} 、 SBP、DBP
		ET	10	(60%~70%)HR _{max} 连续跑 50~60 min	3次/周	8周	
Lazzer 等 ^[19]	肥胖青少年(N=30) 15~17岁	HIIT	10	高强度跑,强度达到 100% VO _{2max} 下的 HR,间歇训练(心率恢复到 40% VO _{2max} 下的 HR 6 次 100% VO _{2max}),30 min	10次/周	3周	体重、BMI、VO _{2max} 、 SBP、DBP
		CAT	9	有氧持续训练(70% VO _{2max} 对应的 HR),训练时间 30 min	10次/周	3周	
Morrissey 等 ^[20]	肥胖青少年(N=29) 12~16岁	HIIT	16	以(90%~95%)VO _{2max} 强度进行 4~6 次训练,持续时间 2 min,间歇 30 s,整体训练时长 40~60 min	2次/周	12周	体重、BMI、体脂率、SBP、DBP
		CAT	13	有氧运动持续 40 min,强度为 60% VO _{2max}	2次/周	12周	
Runacres 等 ^[21]	青少年(N=15) 3~15岁	HIIT	6	90% VO ₂ HR _{max} ,(30 m 短跑×3)/组,每组间歇 2 min	2次/周	12周	体重、BMI、VO _{2max}
		ET	5	60%~75%VO ₂ HR _{max} ,以 5 km/h 进行 3000m 和 5 000 m 跑,每跑完 1 000 m 后逐渐递增速度,到达最大跑步速时每分钟增加 1%坡度	2次/周	12周	

注:MAS(Maximal Aerobic Speed)为最大有氧速度;VO_{2peak}(Peak Oxygen Uptake)为峰值摄氧量;HR_{max}为最大心率。



2.3 文献发表偏倚风险质量评价

纳入文献的发表偏倚风险评价详见表 2, 对 14 篇纳入文献进行详细的偏倚风险评价, 其中 3 篇为低风险 (7-8), 11 篇为中度风险 (4-6), 平均值为 5.71, 纳入的文献中整体发表偏倚风险较低。15 篇文献中只有 7 篇文献对主要的指标评价者实施盲法, 仍然存在一定程度的发表偏倚风险。

表 2 纳入文献的偏倚风险评价

Table 2 Risk of Bias Assessment for the Included Articles

纳入文献	评价指标								总计
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Banquet 等 ^[9]	√	√	√	×	?	√	√	√	6
Banquet 等 ^[10]	√	√	√	√	?	√	√	×	6
Boddy 等 ^[11]	√	√	√	×	×	√	√	?	5
Sandbakk 等 ^[12]	√	√	√	×	√	×	×	√	5
Araujo 等 ^[13]	√	√	√	√	√	√	√	√	8
Koubba 等 ^[14]	√	√	√	?	√	?	√	?	5
Starkoff 等 ^[15]	√	√	√	√	√	?	√	√	7
Murphy 等 ^[16]	√	√	√	√	√	?	×	√	6
Kappenstein 等 ^[17]	√	√	√	√	?	√	√	√	7
Cockcroft 等 ^[18]	√	√	√	×	√	×	√	×	5
Kargarfard 等 ^[8]	√	√	√	×	?	√	√	?	5
Lazzer 等 ^[19]	√	√	×	?	√	√	×	√	5
Morrissey 等 ^[20]	√	√	√	√	?	√	√	×	6
Runacres 等 ^[21]	√	√	√	×	√	×	×	?	4

注: 评价指标 1 为明确的纳入标准, 2 为随机分组, 3 为组间基础值无显著差异, 4 为对主要的指标评定者实施盲法, 5 为所有受试者均按照方案接受干预, 或对主要结果进行“意向性分析”, 6 为描述退出或缺失情况, 且退出比例 < 20%, 7 为计算样本量, 且受试者人数满足样本量需求, 8 为报告每组结果、效应量及精确度; √ 表示“有明确描述”, × 表示“无明确描述”; ? 表示“未知或未充分描述”。

3 研究结果

通过纳入文献的研究发现, 青少年作为实验对象常被分为健康青少年和肥胖青少年两类, Kargarfard* 等^[8]分别将 20 名正常体重和 20 名肥胖青少年分别进行随机对照实验, 讨论 HIIT 与 CAT 对肥胖青少年与正常体重青少年身体成分及心肺适能的干预情况, 在同样的干预情况下, 由于实验对象的不同最终结果存在差异, 因此本研究在分析 HIIT 与 CAT 对青少年心肺适能和身体成分的影响中, 将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组进行分析。

3.1 HIIT 与 CAT 对青少年身体成分的影响

HIIT 与 CAT 在对青少年身体成分的干预效果上有明显的作用, 但是两种方法在其训练强度、训练形式、持续时间等方面存在明显差异。HIIT 是一种负荷强度大于无氧阈或最大乳酸稳态的训练方法, 每组的持续时间相对较短, 不完全恢复间歇后进行下一组训练^[3], 而 CAT 则是强度负荷控制在 60%~70% VO_{2max}, 持续时间小于 60 min, 一般常为低强度持续训练^[22]。两种训练方法对青少年人群身体成分的干预效果仍是当前学界的争议热点, 研究通过纳入国内外对于 HIIT 与 CAT 对青少年身体成分影响效果的文献进行 Meta 分析, 探讨 HIIT 与 CAT 对青少年身体成分干预的差异情况。通过选取体重、体脂率、BMI 身体质量指数作为 Meta 分析的结局指标。在随机实验中体重、体脂率、BMI 等指标最终数值越小代表的所在组别的训练方法效果越明显, 因此 HIIT 组优于 CAT 组时的效应量为负值, 即无效基线左边代表 HIIT 组干预效果好。以上相关指标作为 Meta 分析的结局指标, 通过对不同结局指标的文献进行分类纳入, 对 Meta 分析结果及纳入 10 项研究以上进行发表偏倚分析。

3.1.1 体重指标效应量

体重指标效应量的 Meta 分析共纳入 10 项研究, 将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组, 如图 2 所示。Meta 分析结果得出, 纳入研究总体上不存在异质性 (I²=0%, P>0.1)。采用固定效应模型得到的合并研究总效应量与 95%CI 为 0.08[-1.44, 1.60], P>0.05, 未达到显著水平, HIIT 与 CAT 对青少年体重的干预效果相似。对健康青少年亚组进行分析, 健康青少年亚组共 4 项研究, 纳入的研究总体上不存在异质性 (I²=0%, P>0.1), 合并研究效应量及 95%CI 为 1.06[-1.01, 3.12], P>0.05, 未达到显著水平, HIIT 与 CAT 对健康青少年体重的干预效果无显著性差异, 但 CAT 对青少年体重干预的总效应量优于 HIIT。对肥胖青少年亚组进行分析, 肥胖青少年亚组共纳入了 6 项研究, 纳入研究的总体上不存在异质性 (I²=0%, P>0.1), 合并效应量及 95%CI 为 -1.06[-3.31, 1.18], P>0.05, 未达到显著水平, HIIT 与 CAT 对健康青少年体重的干预效果无显著性差异, 但 HIIT 对肥胖青少年体重总体效应量优于 CAT。由图 3 可知, 纳入的研究总体关于无效基线对称, HIIT 与 CAT 对青少年体重的干预 Meta 分析纳入的 10 项研究不存在明显的发表偏倚。

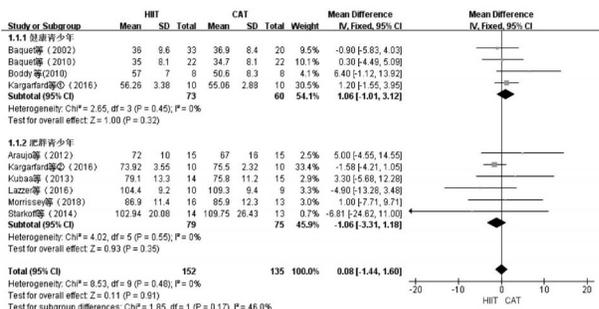


图 2 HIIT 与 CAT 对青少年体重的影响

Figure2 Effects of HIIT and CAT on Adolescent Weight

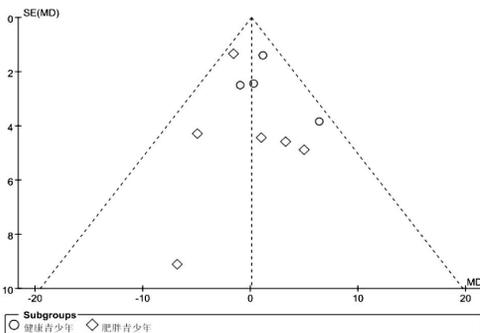


图 3 体重指标发表偏倚漏斗图

Figure3 Funnel Chart of the Body Weight Index Publication Bias

3.1.2 体脂率指标效应量

体脂率指标效应量的 Meta 分析共纳入 8 项研究，将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组，如图 4 所示。Meta 分析结果得出，纳入研究总体上存在轻度异质性 ($I^2=35%$, $P>0.1$)。采用固定效应模型得到的合并研究总效应量与 95% CI 为 $-1.42[-2.59,-0.26]$, $P<0.05$, 存在显著性差异，即 HIIT 与 CAT 组对青少年体脂率有明显的干预效果，并且 HIIT 对体脂率的干预效果优于 CAT。对健康青少年亚组进行分析，健康青少年亚组共 3 项研究，纳入研究的总体上不存在异质性 ($I^2=0%$, $P>0.1$)，合并研究效应量及 95% CI 为 $1.52[-1.86,4.91]$, $P>0.05$, 未达到显著水平，HIIT 与 CAT 对健康青少年体脂率的干预效果无显著性差异，但对青少年体脂率干预的总效应量，CAT 优于 HIIT。对肥胖青少年亚组进行分析，肥胖青少年亚组共纳入了 5 项研究，纳入研究的总体上存在轻度异质性 ($I^2=39%$, $P>0.1$)，合并效应量及 95% CI 为 $-1.82[-3.06,-0.58]$, $P<0.05$, 存在非常显著性差异，HIIT 与 CAT 对肥胖青少年体脂率的干预效果有非常显著差异，并且 HIIT 对肥胖青少年体脂率的干预效果优于 CAT。由于纳入的研究总数少于 10 项，因此未做漏斗图评价发表偏倚^[23]。

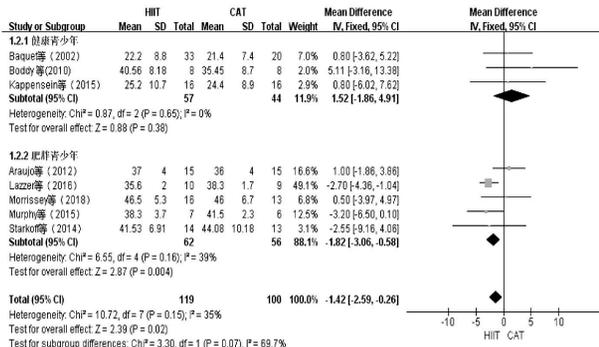


图 4 HIIT 与 CAT 对青少年体脂率的影响

Figure4 Influence of HIIT and CAT on Adolescent Body Fat Rate

3.1.3 BMI 指标效应量

BMI 指标效应量的 Meta 分析共纳入 11 项研究，由于 HIIT 和 CAT 对青少年 BMI 指标的干预效应量存在差异，因此将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组，如图 5 所示。Meta 分析结果得出，纳入研究总体上存在轻度异质性 ($I^2=30%$, $P>0.1$)。采用固定效应模型得到的合并研究总效应量与 95% CI 为 $0.02[-0.21,0.26]$, $P>0.05$, 差异性不显著，即 HIIT 与 CAT 对青少年 BMI 的干预效果类似。将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组，分别进行分析。对健康青少年亚组进行分析，健康青少年亚组共 4 项研究，纳入研究总体上不存在异质性 ($I^2=1%$, $P>0.1$)，合并研究效应量及 95% CI 为 $0.15[-0.22,0.53]$, $P>0.05$, 未达到显著水平，HIIT 与 CAT 对健康青少年体脂率的干预效果无显著性差异，但对青少年体脂率干预的总效应量 CAT 优于 HIIT。对肥胖青少年亚组进行分析，肥胖青少年亚组共纳入了 7 项研究，纳入的研究总体上存在轻度异质性 ($I^2=42%$, $P>0.1$)，合并效应量及 95% CI 为 $-0.06[-0.37,0.25]$, $P>0.05$, 差异性不显著，即 HIIT 与 CAT 对肥胖青少年体脂率的干预效果无差异，但 HIIT 对肥胖青少年体脂率的干预总效应量优于 CAT。将 HIIT 与 CAT 对青少年 BMI 干预的 Meta 分析纳入的研究进行发表偏倚分析，图 6 为 BMI 指标的发表偏倚漏斗图，由于运用随机效应模型，因此图上两侧无漏斗虚线。由图 6 可知，纳入研究总体上关于无效基线对称，纳入研究之间不存在明显的发表偏倚。

3.2 HIIT 与 CAT 对青少年心肺适能的影响

心肺适能是指心血管机能或有氧能力，是人的心脏、肺部、血管等组织的功能^[24]。选取 VO_{2max} 、 VO_{2peak} 、SBP、DBP 作为评价心肺适能的指标，研究通

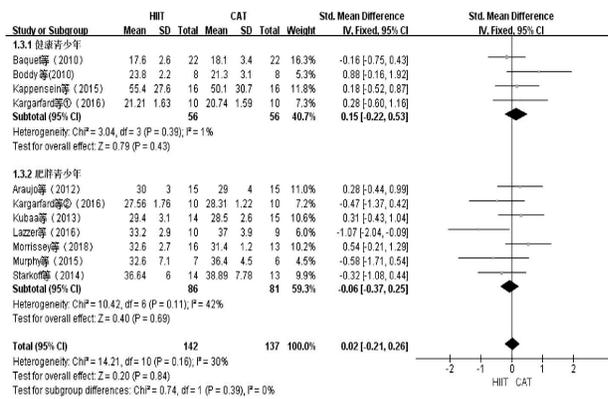


图 5 HIIT 与 CAT 对青少年 BMI 的影响

Figure 5 Effects of HIIT and CAT on Adolescent BMI

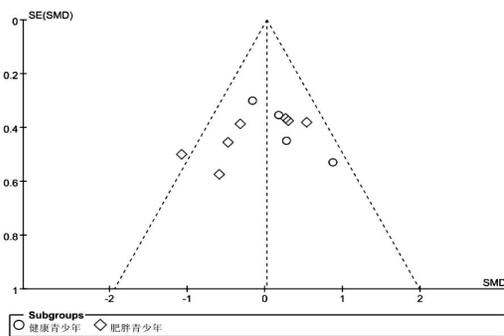


图 6 BMI 指标的发表偏倚漏斗图

Figure 6 Funnel Chart of BMI Publication Bias

过纳入国内外对于 HIIT 与 CAT 对青少年心肺适能影响效果的文献进行 Meta 分析, 探讨 HIIT 与 CAT 对青少年身体成分干预的差异情况。在随机实验中 VO_{2max}、VO_{2peak}、SBP、DBP 等指标最终数值越大代表所在组别的训练方法效果越明显, 因此 HIIT 组优于 CAT 组时的效应量为正值, 即无效基线右边代表 HIIT 组干预效果好。由于 Meta 分析中只能对纳入 10 项研究才能进行发表偏倚分析, 且以上指标的 Meta 分析过程中纳入的研究数量均少于 10 项, 故不能进行文献发表偏倚分析^[23]。

3.2.1 VO_{2max} 指标效应量

VO_{2max} 指标效应量的 Meta 分析一共纳入 8 项研究, 将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组, 如图 7 所示。Meta 分析结果得出, 纳入研究总体上存在中度异质性 (I²=69%, P<0.1)。由于异质性 I²≥50%, 因此采用随机效应模型进行 Meta 分析, 合并研究总效应量与 95% CI 为 0.65 [0.05, 1.26], P<0.05, 存在显著性差异, 即 HIIT 与 CAT 组对青少年 VO_{2max} 有明显的干预效果, 并且 HIIT 对 VO_{2max} 的干预效果优于 CAT。对健康青少年亚组进行分析, 健康青少年亚组共 3 项研究, 纳入的研究总体上

存在高度异质性 (I²=87%, P<0.1), 产生异质性的原因为纳入研究的数量较少, 不同研究间的效应量存在差异。健康青少年亚组合并研究效应量及 95% CI 为 1.12 [-0.68, 2.93], P>0.05, 未达到显著水平, HIIT 与 CAT 对健康青少年 VO_{2max} 的干预效果无显著性差异, 但对青少年体脂率干预的总效应量 HIIT 优于 CAT。对肥胖青少年亚组进行分析, 肥胖青少年亚组共纳入了 5 项研究, 纳入研究总体上存在轻度异质性 (I²=43%, P>0.1), 合并效应量及 95% CI 为 0.52 [-0.01, 1.04], P=0.05, 存在显著性差异, HIIT 与 CAT 对肥胖青少年 VO_{2max} 的干预效果存在显著性差异, 并且 HIIT 对肥胖青少年 VO_{2max} 的干预效果优于 CAT。

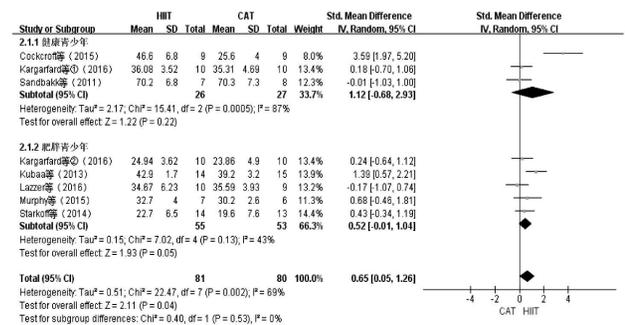


图 7 HIIT 与 CAT 对青少年 VO_{2max} 的影响

Figure 7 Effects of HIIT and CAT on Adolescent VO_{2max}

3.2.2 VO_{2peak} 指标效应量

VO_{2peak} 指标效应量的 Meta 分析一共纳入 5 项研究, 并且 5 项研究中实验对象都为健康青少年, 结果如图 8 所示。Meta 分析结果得出, 纳入研究总体上不存在异质性 (I²=0%, P>0.1)。采用固定效应模型得到的合并研究总效应量与 95% CI 为 0.51 [-1.57, 2.60], P>0.05, 差异不显著, 即在统计学意义上, HIIT 与 CAT 对健康青少年 VO_{2peak} 的干预效果无显著性差异, 但 HIIT 对青少年 VO_{2peak} 的干预效果优于 CAT。

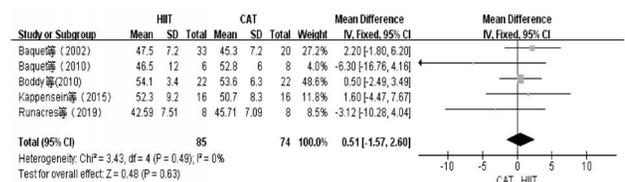


图 8 HIIT 与 CAT 对青少年 VO_{2peak} 的影响

Figure 8 Effect of HIIT and CAT on Adolescent VO_{2peak}

3.2.3 SBP 指标效应量

SBP 指标效应量的 Meta 分析一共纳入 6 项研究, 将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组, 如图 9 所示。Meta 分析结果得出, 纳入研究总体上存在中度异质性 (I²=70%, P<0.1)。采用随



机效应模型得到的合并研究总效应量与 95% CI 为 -0.55[-3.60,2.50], $P > 0.05$, 在统计学意义上 HIIT 与 CAT 对青少年 SBP 的干预效果无显著性差异, 但 CAT 对 SBP 的干预效果优于 HIIT。对健康青少年亚组进行分析, 健康青少年亚组共 2 项研究, 纳入的研究总体上存在轻度异质性 ($I^2=37%$, $P > 0.1$), 合并研究效应量及 95% CI 为 -1.44[-6.42,3.55], $P > 0.05$, 干预效果无显著性差异, 但 CAT 对青少年 SBP 干预的总效应量优于 HIIT。对肥胖青少年亚组进行分析, 肥胖青少年亚组共纳入了 4 项研究, 纳入研究的总体上存在中度异质性 ($I^2=71%$, $P < 0.05$), 合并效应量及 95% CI 为 -0.28[-4.28,3.73], $P > 0.05$, 差异不显著, HIIT 与 CAT 对肥胖青少年 SBP 的干预效果无显著性差异, 但 CAT 对肥胖青少年体脂率的干预效果优于 HIIT。

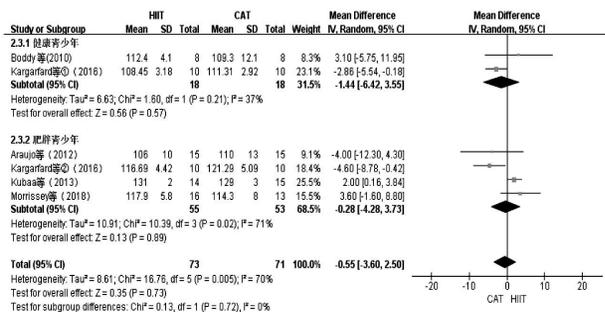


图 9 HIIT 与 CAT 对青少年 SBP 的影响

Figure9 Effects of HIIT and CAT on Adolescent SBP

3.2.4 DBP 指标效应量

DBP 指标效应量的 Meta 分析一共纳入 6 项研究, 如图 10 所示。Meta 分析结果得出, 纳入研究总体上不存在异质性 ($I^2=1%$, $P > 0.1$)。采用随机效应模型得到的合并研究总效应量与 95% CI 为 1.15[-0.09,2.39], $P > 0.05$, 在统计学意义上 HIIT 与 CAT 对青少年 DBP 的干预效果不存在显著性差异, 但 HIIT 对 DBP 的干预效果优于 CAT。将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组, 对健康青少年亚组进行分析, 健康青少年亚组共纳入 2 项研究, 纳入研究的总体上存在中度异质性 ($I^2=69%$, $P < 0.1$), 合并研究效应量及 95% CI 为 2.75 [-2.26,7.76], $P > 0.05$, HIIT 与 CAT 对健康青少年 DBP 的干预效果无显著性差异, 但 HIIT 对青少年 DBP 干预的总效应量优于 CAT。对肥胖青少年亚组进行分析, 肥胖青少年亚组共纳入了 4 项研究, 纳入的研究之间不存在异质性 ($I^2=0%$, $P > 0.05$), 合并效应量及 95% CI 为 0.92 [-0.53,2.73], $P > 0.05$, 差异不显著, HIIT 与 CAT 对肥胖青少年 DBP 的干预效果无显著性差异, 但 HIIT 对肥胖青少年体脂率的干预效果优于 CAT。

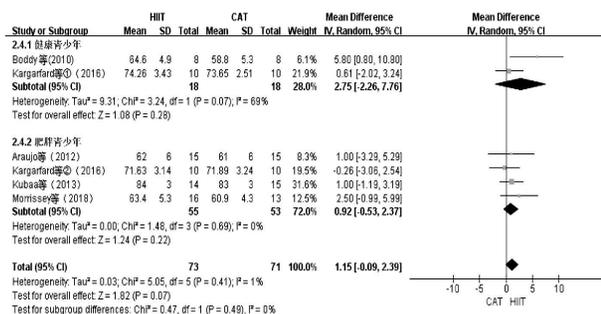


图 10 HIIT 与 CAT 对青少年 DBP 的影响

Figure10 Effects of HIIT and CAT on Adolescent DBP

4 讨论与分析

通过定量评估 HIIT 与 CAT 两种运动干预方式对 8~17 岁青少年身体成分的改善情况, 选取体重、体脂率以及 BMI 作为评价身体成分的指标进行 Meta 分析。HIIT 与 CAT 对青少年体重、BMI 指标的改善情况相同, HIIT 对体脂率的改善效果优于 CAT。体重、体脂率以及 BMI 是肥胖干预中常用的结局指标, 在统计学意义上, HIIT 与 CAT 对体重和 BMI 的干预效果差异不显著, 对体脂率的干预效果差异性显著。通过亚组分析发现, HIIT 对于肥胖青少年身体成分的干预效果优于 CAT, 相关研究讨论了 8 周 HIIT 与 CAT 对于肥胖青少年和健康青少年的干预效果, 最终结果表明, HIIT 对于肥胖青少年身体成分的干预效果优于 CAT; 但对于健康青少年而言, CAT 对身体成分的干预效果优于 HIIT^[8]。究其原因, HIIT 与 CAT 对于青少年身体成分的干预机制并不相同。有研究提出 HIIT 干预青少年身体成分主要是通过促进能量消耗和食欲抑制^[25], 而 CAT 对于青少年身体成分的干预机制更多的是能量消耗。另一学者通过设计对照实验发现通过 HIIT 与 CAT 对青少年身体成分进行干预, 实验后 HIIT 组比 CAT 组的能量摄入有明显的减少^[26]。总结得出, HIIT 相比于 CAT 能够通过发挥高强度后大脑对高能量物质产生的抑制反应, 对饮食的总能量摄入进行合理调节。因此在对青少年身体成分的干预中, HIIT 相较于 CAT 能发挥更明显的效果, 尤其是在针对肥胖青少年肥胖问题中, HIIT 的效果优于 CAT。

HIIT 相较于 CAT 对群体的心肺适能的改善作用已得证实^[27], 但对于 HIIT 与 CAT 对青少年心肺适能的干预效果的差异, 当前学界并未取得统一的结论, 目前的实验研究结果并不一致。研究结果对纳入的研究进行分析, 发现 HIIT 与 CAT 对青少年心肺适能的干预效果无显著性差异, 但是 HIIT 对青少年心肺适能相关指标的效应量优于 CAT。VO_{2max} 作



为心肺适能的主要评价指标,已有研究表明,HIIT干预健康成人的 VO_{2max} 效果优于CAT^[28],即HIIT对于健康成人的心肺适能提升效果优于CAT。HIIT相较于CAT在对 VO_{2max} 的影响上更能够引起中枢适应(心血管)和外周适应(骨骼肌)的反应,对于中枢适应机制而言,HIIT能够引起氧利用率的增加,提高工作肌氧气输送效率;对于外周适应机制而言,HIIT能够引起肌肉氧化能力和线粒体数量的增加,从而引起外周适应机制的变化^[29]。因此HIIT相比于CAT更能够引起青少年中枢适应机制和外周适应机制的反应,最终达到改善青少年心肺适能的效果。因此青少年在提高心肺适能的训练方案选择中,可以将HIIT作为传统CAT的替代方案。

5 结论

研究对HIIT与CAT对青少年身体成分及心肺适能的影响进行Meta分析。HIIT与CAT对青少年体重和BMI的干预效果无显著性差异,对体脂率的干预效果存在显著性差异。HIIT与CAT对青少年 VO_{2max} 、 VO_{2peak} 、SBP和DBP的干预效果在统计学上无显著性差异,但HIIT对青少年 VO_{2max} 、 VO_{2peak} 和DBP总体效应量上优于CAT,CAT对青少年SBP的总效应量优于HIIT。研究在讨论分析HIIT与CAT对青少年身体成分和心肺适能的干预效果差异时,根据纳入文献的具体情况将青少年分为健康青少年和肥胖青少年两个亚组,发现HIIT与CAT对肥胖青少年和健康青少年的身体成分与心肺适能的影响效果上存在差异。后续的研究可以探讨具体的HIIT方案对青少年身体成分及心肺适能的干预效果。

参考文献:

[1] 刘扶民,王立伟.中国青少年体育发展报告(2017)[M].北京:社会科学文献出版社,2018:5-7.
 [2] 邓建伟,曹莉.高强度间歇训练与儿童青少年健康促进的研究进展[J].中国体育科技,2019,55(06):21-34.
 [3] 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(08):59-75+96.
 [4] Costigan S. A., Eather N., Plotnikoff R. C., et al. High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: a systematic review and meta-analysis[J]. *Bri. J. Sports Med.*, 2015, 49 (19): 1253-1261.
 [5] Moher D., Liberati A., Tetzlaff J., et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement[J]. *Annals of internal medicine*, 2009,

151(4): 264-269.
 [6] 郑明华.Meta分析软件应用与实例解析[M].北京:人民卫生出版社,2013.
 [7] Langendam M. W., Akl E. A., Dahm P., et al. Assessing and presenting summaries of evidence in Cochrane Reviews[J]. *Systematic reviews*, 2013, 2(1): 81.
 [8] Kargarfard M., Lam E. T. C., Shariat A., et al. Effects of endurance and high intensity training on ICAM-1 and VCAM-1 levels and arterial pressure in obese and normal weight adolescents[J]. *The Physician and Sports Medicine*, 2016, 44(3): 208-216.
 [9] Baquet G., Berthoin S., Dupont G., et al. Effects of high intensity intermittent training on peak VO_2 in prepubertal children[J]. *International journal of sports medicine*, 2002, 23(06): 439-444.
 [10] Baquet G., Gamelin F. Ç. X., Mucci P., et al. Continuous vs. interval aerobic training in 8-to 11-year-old children[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2010, 24(5): 1381-1388.
 [11] Boddy L. M., Stratton G., Hackett A. F., et al. The effectiveness of a 'short, sharp, shock' high intensity exercise intervention in 11-and 12-year-old Liverpool school-girls[J]. *Archives of Exercise in Health and Disease*, 2010, 1(1): 19-25.
 [12] Sandbak K., Welde B., Holmberg H. C. Endurance training and sprint performance in elite junior cross-country skiers[J]. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 2011, 25(5): 1299-1305.
 [13] De Araujo A. C. C., Roschel H., Picanço A. R., et al. Similar health benefits of endurance and high-intensity interval training in obese children[J]. *PLoS One*, 2012, 7(8): 1-8.
 [14] Koubaa A., Trabelsi H., Masmoudi L., et al. Effect of intermittent and continuous training on body composition cardiorespiratory fitness and lipid profile in obese adolescents[J]. *IOSR-JPBS*, 2013, 3(2): 31-37.
 [15] Starkoff B. E., Eneli I. U., Bonny A. E., et al. Estimated aerobic capacity changes in adolescents with obesity following high intensity interval exercise[J]. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 2014, 2(3): 1-8.
 [16] Murphy A., Kist C., Gier A. J., et al. The feasibility of high-intensity interval exercise in obese adolescents[J]. *Clinical pediatrics*, 2015, 54(1): 87-90.
 [17] Kappenstein J., Ferrauti A. Intervall sprint training verbessert die aerobe Ausdauer im Grundschulalter[J]. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 2015(5): 128-133.



- ta[J]. Eur. J. Sport Science, 2010, 10(5):291-296.
- [9] Muehlbauer T., Melges T. Pacing patterns in competitive rowing adopted in different race categories[J]. J. Strength Cond. Res., 2011, 25(5):1293-1298.
- [10] Garland S. W. An analysis of the pacing strategy adopted by elite competitors in 2000 m rowing[J]. Br. J. Sports Med., 2005, 39(1):39-42.
- [11] 吴昊,刘爱杰,黎健冰.专项功率评价与赛艇水陆训练强度统一的研究[J].山东体育学院学报,2004(05):44-47.
- [12] 姚学武,高炳宏.6周功能性力量训练对优秀女子赛艇运动员身体功能性动作的影响[J].体育科研,2019,40(02):87-90.
- [13] 高炳宏,孟志军.赛艇项目专项训练监控方法的研究进展[J].体育科研,2013,34(05):52-59.
- [14] Kleshnev V., Nolte V. Racing strategy in rowing during Sydney Olympic Games[J]. Australian Rowing, 2001, 24(1):20-23.
- [15] Kleshnev V., Nolte V. Learning from racing. In: Nolte V, ed. Rowing Faster[M]. 2nd Edition. USA: Human Kinetics, 2011.
- [16] 资薇,陈小平.基于伦敦奥运会的当前赛艇世界格局及发展动向[J].中国体育科技,2013,49(03):84-88.
- [17] Hartmann U., Mader A. Rowing physiology. In: Nolte V, ed. Rowing faster[M]. United States of America: Human Kinetics, 2005:9-23.
- [18] 黎涌明.世界赛艇科学的德国流[J].体育科学,2013,33(06):77-84.
- [19] Foster C., Schrager M., Snyder A. C., et al. Pacing strategy and athletic performance[J]. Sports Med., 1994, 17(2):77-85.
- [20] Thiel C., Foster C., Banzer W., et al. Pacing in Olympic track races: competitive tactics versus best performance strategy[J]. Journal of sports sciences, 2012, 30(11):1107-1115.
- [21] Hopkins W. How to interpret changes in an athletic performance test[J]. Sport Science, 2004.
- [22] 陈小平,资薇.中国赛艇训练关键问题研究[J].体育科学,2011,31(01):56-62+74.
- [23] 唐桥,郑晓鸿,毕学翠,等.优秀男子赛艇运动员水上和测功仪拉桨中肌肉活动特征的比较研究[J].中国体育科技,2017,53(04):76-82.
- [24] 董微微,高炳宏.4周下肢间歇负压干预对优秀赛艇运动员心率变异性及儿茶酚胺的影响[J].上海体育学院学报,2020,44(04):78-83.

(责任编辑:刘畅)

(上接第85页)

- [18] Cockcroft E. J., Williams C. A., Tomlinson O. W., et al. High intensity interval exercise is an effective alternative to moderate intensity exercise for improving glucose tolerance and insulin sensitivity in adolescent boys[J]. Journal of Science and Medicine in Sport, 2015, 18(6): 720-724.
- [19] Lazzer S., Tringali G., Caccavale M., et al. Effects of high-intensity interval training on physical capacities and substrate oxidation rate in obese adolescents[J]. Journal of endocrinological investigation, 2017, 40(2): 217-226.
- [20] Morrissey C., Montero D., Raverdy C., et al. Effects of exercise intensity on microvascular function in obese adolescents[J]. International journal of sports medicine, 2018, 39(06): 450-455.
- [21] 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.
- [22] 黎涌明.周期性耐力项目的训练量与强度[J].体育科学,2015,35(02):67-72.
- [23] 郜卫峰,冯鑫,顾大成.同期耐力与力量训练对长跑运动员跑步经济性耐力表现相关指标影响的 Meta 分析[J].体育科学,2019,39(09):68-81.
- [24] 陈佩杰,王人卫.健康体适能评定理论与方法[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2005.
- [25] Boutcher S. H. High-intensity intermittent exercise and fat loss[J]. Journal of obesity, 2010:868.
- [26] Sim A. Y., Wallman K. E., Fairchild T. J., et al. Effects of high-intensity intermittent exercise training on appetite regulation[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2015, 47(11): 2441-2449.
- [27] Milanovic Z., Sporiš G., Weston M. Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO_{2max} improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials[J]. Sports medicine, 2015, 45(10): 1469-1481.
- [28] 赵广高,曹卫,苏利强,等.高强度间歇训练与中强度持续训练对超重/肥胖成人心肺适能的影响比较:Meta分析[J].首都体育学院学报,2018,30(2):186-192.
- [29] 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(07):73-82.

(责任编辑:刘畅)