



## 高强度间歇训练对青年女性身体活动和身体成分影响的实验研究

### An Experimental Study on the Effects of High-Intensity Interval Training on Physical Activity and Body Composition of Young Women

陆熠宁\*, 但林飞

LU Yining\*, DAN Linfei

**摘要:**目的:探析高强度间歇训练(high-intensity interval training, HIIT)对青年女性身体活动(physical activity, PA)和身体成分的影响,并进一步探究HIIT对身体成分的干预效果是否受到PA影响。方法:招募62名非规律运动青年女性,随机分为HIIT组(HIIT,  $n=30$ )和对照组(CON,  $n=32$ )。HIIT组完成12周,每周3次的训练:训练目标强度为 $90\%HR_{max}$ ,每次训练中20 s功能性训练和10 s休息为1组,重复8组,共4 min。CON组不参与运动。干预前、后分别进行问卷调查、身体成分、心肺耐力和PA测试。采用配对 $t$ 检验分析干预前后组内差异,采用混合线性模型分析干预前、后组间差异。对组间差异显著的结果指标构建模型,以HIIT、PA和交互项为固定效应,以个体差异为随机效应。结果:1)与CON组相比,12周干预后HIIT组体脂率和脂肪重量显著改善( $P<0.001$ ),其中,脂肪重量效应量中等(Cohen's  $d=1.02$ ),体脂率效应量大(Cohen's  $d=1.25$ );而体重、身体质量指数、腰围和去脂体重无显著变化( $P>0.05$ )。2)与CON组相比,12周干预后HIIT组MVPA(Cohen's  $d=1.92$ )和TPA(Cohen's  $d=1.80$ )显著改善( $P<0.001$ ),效应量均为大。3)HIIT对身体成分的干预效果受到PA水平变化的影响。结论:12周低运动量HIIT能够提高青年女性PA水平,改善其身体成分,且PA水平提高会影响HIIT对身体成分的干预效果。

**关键词:**高强度间歇训练;身体活动;身体成分;青年女性

**Abstract:** Objective: To study the effects of high-intensity interval training (HIIT) on physical activity (PA) and body composition on young women, and to further explore whether the effects of HIIT on body composition is affected by PA. Methods: 62 physical inactivity young women were recruited and randomly assigned to HIIT group ( $n=30$ ) and no-exercise control group (CON,  $n=32$ ). The HIIT group completed 12 weeks of training with a frequency of three times per week. The required intensity was 90% of the maximal heart rate, and each training session consisted of 8 sets of 20 s functional training followed by 10 s rest, with a total of 4 min. No exercise intervention was performed in CON group. Questionnaire survey, body composition, cardiorespiratory endurance fitness and PA measures were conducted before and after the intervention. The differences within and between groups before and after intervention were analyzed by paired  $t$ -test and mixed linear model, respectively. The mixed linear model was further constructed for the outcome indicators with significant differences between groups, with HIIT, PA and interactions as fixed effects, and individual differences as random effects. Results: 1) Compared with CON group, the HIIT group experienced significant improvement in body fat percentage and fat mass after 12 weeks of intervention ( $P<0.001$ ), the effect size of fat mass was moderate (Cohen's  $d=1.02$ ), and the effect size of body fat percentage was large (Cohen's  $d=1.25$ ); there were no significant changes in body weight, body mass index, waist circumference and fat-free mass ( $P>0.05$ ); 2) compared with the CON group, moderate-to-vigorous PA (Cohen's  $d=1.92$ ) and total PA (Cohen's  $d=1.80$ ) were significantly improved in the HIIT group after 12 weeks of intervention ( $P<0.001$ ), the effect size was large; 3) the effect of HIIT intervention

**基金项目:**

宁波大学高级别人文社会科学项目(XPYQ23015)

**\*通信作者简介:**

陆熠宁(1988-),女,讲师,博士,主要研究方向为运动与健康科学, E-mail: luyining@nbu.edu.cn.

**作者单位:**

宁波大学,浙江宁波315000  
Ningbo University, Ningbo 315211, China.

on body composition was affect by changes in PA levels. Conclusions: 12 weeks of low-volume HIIT can increase PA level and improve the body composition of young women. The PA level affects the intervention effects of HIIT on body composition.

**Keywords:** *high-intensity interval training; physical activity; body composition; young women*

**中图分类号:**G804.49 **文献标识码:**A

肥胖与身体活动(physical activity, PA)不足是全球公共卫生关注的问题,已被证实与多种疾病相关(Lear et al., 2017; Powell-Wiley et al., 2021)。一直以来,中等强度运动是肥胖管理和身体活动指南的首推。2020年,世界卫生组织(World Health Organization, WHO)发布《身体活动和久坐行为指南》(Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour)(以下简称《指南》)建议,成人每周至少参加150 min的中等强度PA来控制体重,保持健康(Bull et al., 2020)。尽管有益健康的证据充足,该《指南》的遵守程度依然很低,缺乏时间是阻碍成人参与PA的重要原因之一(Carballo-Fazanes et al., 2020; Reichert et al., 2007)。因此,省时、高效的运动方案对于改善肥胖,增加PA以及健康促进具有重要意义。

近10年来,高强度间歇训练(high intensity interval training, HIIT)已成为健身减脂领域的研究热点。HIIT用时短,单次训练时间通常不超过30 min,且效果与中等强度有氧训练相近(Viana et al., 2019)。HIIT定义为以不低于无氧阈或最大乳酸稳态的强度,进行重复多次的,每次持续时间为几秒到几分钟的训练,并且在每2次训练的间歇安排静息或低强度训练(黎涌明,2015)。现有研究表明,持续12周,频率为每周3次的HIIT可显著改善超重和肥胖人群的身体成分(Batacan et al., 2017; Maillard et al., 2018; Wewege et al., 2017)。

于普通人群而言,通过一定的PA来保持健康是锻炼的主要目的之一。尽管研究证明HIIT对健康有益,但是HIIT仍然无法取代传统有氧训练,也鲜见应用于以减脂为目标的运动处方。究其原因:1)缺乏对高强度的清晰定义,使HIIT减脂的证据不充分。已有系统综述将高强度下限定义为80%~90%HR<sub>max</sub>(Batacan et al., 2017; Maillard et al., 2018)。另有研究将冲刺间歇训练纳入HIIT范围(Wewege et al., 2017)。2)HIIT减脂机制尚未明确。有研究认为,HIIT能有效减脂是因为同时提高了有氧和无氧代谢能力,提高了脂肪氧化能力(Boutcher, 2011)。Islam等(2018)从能耗角度做出解释,认为HIIT基本不消耗脂肪,但可能利用运动后过量氧耗消耗脂肪。3)缺乏衡量HIIT对PA影响的研究,而PA产生的能量消耗对身体成分起重要作用(Tremblay et al., 1985)。支持的证据表明HIIT能够提高普通人的日常PA水平,特别是中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)(Costigan et al., 2018)。持相反意见的研究发现,普通人实施HIIT干预会导致一系列补偿性行为,包括增加久坐、

能量摄入和减少非运动时间的PA等(King et al., 2012; Mansfeldt et al., 2023)。目前,针对普通人群的HIIT实验研究鲜见对受试者PA变化的考量,这可能使干预结果产生偏倚。此外,有研究表明,在未经训练的普通人群中实施HIIT,超高的训练强度容易导致训练依从性差和负面情绪,使干预的可行性和持续性存疑(Hu et al., 2022)。以普通人群为受试者的HIIT研究主要从两方面对于干预方案进行了优化,使改良方案呈现低运动量的特征:1)降低目标运动强度,采用次最大强度负荷;2)进一步缩短训练时长,且每次训练负荷累积时长不超过15 min(Sabag et al., 2022)。比较研究表明,低运动量HIIT的减脂效果与中等强度持续训练(moderate-intensity continuous training, MICT)相近(Aristizabal et al., 2021; Gallo-Villegas et al., 2022; Poon et al., 2020),但几乎所有研究结果均来自超重和肥胖受试者。

随着正常体重肥胖(normal weight obesity, NWO)概念的提出,肥胖管理的重心从减重转向减脂。NWO是指体重正常,但脂肪超量(De Lorenzo et al., 2006)。与传统的以身体质量指数(body mass index, BMI)为诊断标准的肥胖不同,NWO更容易被忽视,但同样与较高的心血管疾病发生率相关(Wijayatunga et al., 2021)。预计全球NWO流行率在5%~22%,该比例在女性中较高。中国青年女性的NWO流行率更高,预计在27.5%~40.1%(Maitiniyazi et al., 2021; Zhang et al., 2018)。结合该群体PA不足的证据(刘莹等,2023),研究低运动量HIIT对青年女性PA和身体成分的影响意义重大。

基于此,本研究通过对青年女性进行为期12周的低运动量HIIT干预,探讨HIIT对青年女性PA和身体成分的影响;同时,构建模型,解释日常PA量的改变是否影响HIIT对身体成分的干预效果。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 实验对象及实验设计

受试者为青年女性,通过大学公共体育课招募。初筛标准为:1)除学校体育课外,无规律运动习惯(受试者自我报告过去3个月每周少于3次,每次少于30 min中等强度运动);2)经身体活动准备问卷2014 PAR-Q+(美国运动医学学会,2019)调查后,无不适合训练的损伤或疾病史;3)排除备孕、怀孕和哺乳期;4)排除精神疾病;5)无吸烟酗酒史。初筛合格的受试者要求在干预开始前完成所有基线测试,最终纳入62名受试者。本研究获宁波大学

大健康研究院伦理委员会(审批号:RAGH20220166)和卡迪夫都市大学伦理委员会(审批号:PGR-6451)审批,所有受试者签署知情同意书。本研究采用随机对照实验,采用 Excel RAND 函数将 62 名受试者随机分为 HIIT 组

( $n=30$ )和对照(control, CON)组( $n=32$ ;表 1)。12 周干预结束后,所有受试者接受干预后测试,测试指标、仪器、方法及记录人员均同基线测试。实验流程如图 1 所示。

表 1 受试者的基线特征

Table 1 Baseline Characteristics of Participants

组别	年龄/岁	身高/cm	体重/kg	$\dot{V}O_{2max}/(mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1})$	MVPA/( $min \cdot d^{-1}$ )
HIIT 组( $n=30$ )	20.74±1.87	163.23±4.79	54.61±6.97	34.37±3.37	104±19
CON 组( $n=32$ )	20.10±1.52	164.0±4.66	56.77±6.51	35.50±4.05	101±14

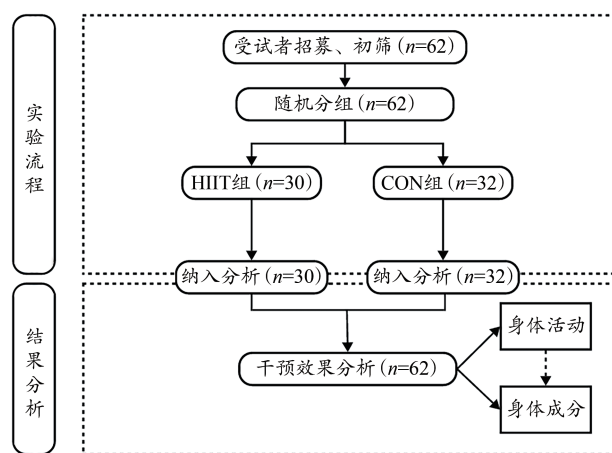


图 1 实验流程

Figure 1. Flow Chart Diagram

## 1.2 干预方案

HIIT 组进行为期 12 周,每周 3 次,共 36 次训练。每次训练包括热身 10 min 60%HR<sub>max</sub>, 4 min HIIT 动作循环练习,以及 5 min 拉伸放松,总时长 19 min。HIIT 动作循环练习包括 4 个功能性动作,分别是开合跳、高抬腿、深蹲跳和登山步。4 个动作依次进行,然后重复。每个动作尽最大努力连续做 20 s 后休息 10 s。目标负荷强度为 90%HR<sub>max</sub>, HR<sub>max</sub>=220-年龄。在干预前进行适应训练,受试者佩戴 Polar H10 心率监测带进行试训,结束后收到定性反馈,目的是熟悉 HIIT 训练内容和目标强度。每次 HIIT 训练期间,利用心率监测带记录心率,控制运动强度。CON 组保持正常生活习惯,不参与任何运动训练。

## 1.3 测试指标

### 1.3.1 身体形态

身高测量使用标准的测高仪。腰围测量使用软带尺,取肋骨与髂嵴间最细处周长。身体成分指标测量采用生物电阻抗分析法(MC-180, TANITA CO., 中国),包括体重、体脂率、脂肪重量、去脂体重和基础代谢。

### 1.3.2 心肺耐力

采用改良 YMCA 方案测试最大摄氧量(maximal oxygen uptake,  $\dot{V}O_{2max}$ ),评估心肺耐力(Ofusa et al., 2000):多级次大强度功率车测试,由 2~4 级组成,每级 3 min,蹬踏

速度为 50 rpm。休息 10 min 后,受试者以 0.5 kg (25 W, 150 kg·m·min<sup>-1</sup>)的阻力蹬踏,随后根据第 1 级最后 1 min 达到的稳定心率调整第 2 级阻力,心率<80、80~89、90~100、>100 次/分对应的第 2 级阻力分别为 2.5、2.0、1.5、1.0 kg,并按需进行第 3 和第 4 级。第 3 级和第 4 级的负荷为第 2 级增加 0.5 kg。连续两级测到的处于 110 次/分(beats per minute, bpm)和 85%HR<sub>max</sub> 之间的 2 个稳定心率被用来拟合线性模型,预测 HR<sub>max</sub> 下的最大功率,进一步利用公式推算  $\dot{V}O_{2max}$ ,评估心肺耐力水平。计算公式为  $\dot{V}O_{2max}=7+1.8 \times$  最大功率/体重。

### 1.3.3 PA

采用三轴加速度计(ActiGraph, wGT3X-BT, 美国)测量受试者日常 PA 量。加速度计采样间隔为 10 s,频率为 30 Hz。加速度计佩戴在身体非惯用侧髌部,连续佩戴 7 d (除洗澡、游泳等活动)。数据分析使用 ActiLife (版本 6.13.4)。每日 7:00—23:00 的佩戴时间不少于 75% (12 h)为 1 个有效日数据,测试期间至少提供 4 个有效日数据(包括 1 个双休日)。PA 强度根据 Freedson 成人算法分类(Freedson et al., 1998),即久坐为<100 cpm; 低强度 PA 为 100~1 951 cpm,中等强度 PA 为 1 952~5 724 cpm,高强度 PA 为 >5 725 cpm; MVPA 为  $\geq 1 952$  cpm。每日 PA 总量(total physical activity, TPA)定义为每日矢量 cpm。

### 1.3.4 能量摄入

采用半定量食物摄取频率问卷调查能量摄入。该问卷根据中国营养与健康调查问卷(2015)修改,估算 63 种常见食物在过去 12 个月的摄入量。食物种类包括:主食、豆类、蔬菜、水果、牛奶、肉类、鸡蛋、零食、酒精和饮料。摄入频率包括:1)从不;2)每年 1 次;3)每月 1 次;4)每周 1 次;5)每天 1 次。摄入热量根据《中国食物成分表(2009)》(杨月欣等, 2009)计算。

### 1.3.5 问卷调查

采用标准化问卷调查的数据包括:人口统计学数据,生活方式,高血压和 2 型糖尿病家族史。饮酒、熬夜分为从不、有时和总是。高血压和 2 型糖尿病家族史分为是或否。

1.4 数据统计

统计分析采用SPSS 23.0。显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。结果以平均值和95%置信区间(confidence interval, CI)表示,干预前、后比较采用配对样本 $t$ 检验,以Cohen's  $d$ 计算效应量,即 $< 0.2$ 为无效应,0.2~0.6为小效应,0.6~1.2为中效应, $> 1.2$ 为大效应(Hopkins et al., 2009)。采用皮尔逊相关矩阵分析相关性。采用混合线性模型评估组间干预效果,因变量为结果指标前、后测的变化率;进一步

对具有显著性的因变量建模,零模型的固定效应为训练(HIIT=1, CON=2)。随后在固定效应中纳入PA变化率以及交互项。个体差异为随机效应。

2 结果

干预前两组受试者无显著差异。干预前、后受试者身体成分、心肺耐力、PA和能量摄入见表2,干预效果见图2。

表2 干预前、后HIIT组和CON组测试指标变化

Table 2 Changes of the Test Indexes in HIIT Group and CON Group before and after Intervention

测试指标	HIIT (n=30)			CON (n=32)			组间差异		
	干预前	干预后	变化率/%	干预前	干预后	变化率/%	变化率/%	P	Cohen's d
体重/kg	54.61(52.01~57.21)	54.42(52.21~56.63)	-0.11(-1.03~0.80)	56.77(54.42~59.12)	57.35(55.09~59.62)	1.14(-0.06~2.33)	-1.25(-2.73~0.23)	0.097	-0.43(-0.93~0.08)
BMI/(kg·m <sup>2</sup> )	20.51(19.55~21.48)	20.45(19.61~21.28)	-0.11(-1.03~0.80)	21.11(20.26~21.97)	21.33(20.51~22.15)	1.14(-0.06~2.33)	-1.25(-2.73~0.23)	0.097	-0.43(-0.93~0.08)
腰围/cm	73.61(71.92~75.30)	73.59(71.95~75.23)	-0.01(-0.14~0.12)	72.76(71.13~74.39)	72.79(71.21~74.36)	0.05(-0.19~0.29)	-0.06(-0.33~0.21)	0.663	-0.12(-0.61~0.38)
体脂率/%	28.31(26.49~30.13)	27.71*(26.09~29.33)	-1.87(-3.06~-0.68)	26.87(25.72~28.03)	27.63*(26.54~28.74)	3.05(1.40~4.70)	-4.92(-6.94~-2.90)	<0.001	-1.25(-1.78~-0.69)
脂肪重量/kg	15.72(14.06~17.37)	15.26*(13.88~16.66)	-1.95(-3.72~-0.17)	15.40(14.25~16.54)	15.97*(14.87~17.07)	4.32(1.67~6.98)	-6.27(-9.44~-3.10)	<0.001	-1.02(-1.54~-0.48)
去脂体重/kg	39.15(38.11~40.19)	40.71(39.53~41.88)	0.76(0.03~1.50)	41.38(40.04~42.72)	41.48(40.45~42.51)	0.07(-0.82~0.95)	0.70(-0.44~1.83)	0.225	0.31(-0.19~0.81)
基础代谢/kJ	5 119(4 964~5 274)	5 178*(5 036~5 320)	1.21(0.27~2.15)	5 170(5 065~5 278)	5 190(5 090~5 287)	0.44(-0.36~1.24)	0.77(-0.43~1.97)	0.205	0.32(-0.18~0.82)
VO <sub>2max</sub> /(mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	34.37(33.11~35.62)	38.74*(37.12~40.35)	12.76(10.18~15.33)	35.50(34.04~36.96)	35.39(33.95~36.84)	-0.27(-0.81~0.27)	13.03(10.53~15.52)	<0.001	2.57(1.87~3.21)
MVPA/(min·d <sup>-1</sup> )	104(96~111)	119*(111~127)	15.47(11.87~19.07)	101(95~106)	99(94~104)	-1.29(-4.04~1.46)	16.76(12.36~21.16)	<0.001	1.92(1.30~2.50)
TPA/cpm	1 134(1 021~1 247)	1 299*(1 194~1 403)	16.09(12.04~20.14)	1 171(1 074~1 268)	1 145(1 064~1 225)	-1.09(-3.97~1.78)	17.19(12.37~22.00)	<0.001	1.80(1.18~2.36)
摄入热量/(kJ·d <sup>-1</sup> )	7 246(6 450~8 041)	7 175(6 509~7 836)	0.53(-2.28~3.33)	7 635(6 731~8 539)	7 681(6 789~8 568)	0.94(-0.49~2.36)	-0.41(-3.43~2.62)	0.789	-0.07(-0.57~0.43)

注:\*表示干预前、后组内差异显著。

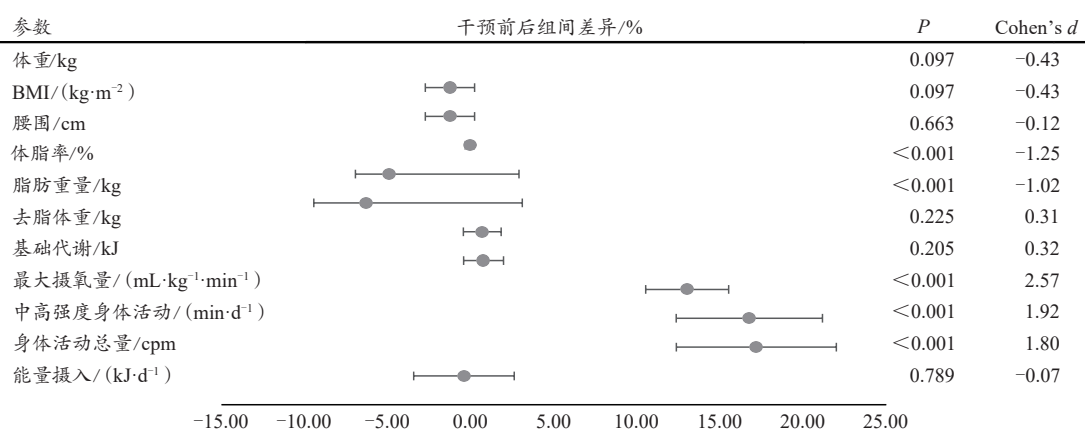


图2 干预效果组间差异

Figure 2. Intergroup Differences in Intervention Effects

注:●表示2组干预前、后变化率差异;实线表示95% CI。

### 2.1 HIIT 完成情况

HIIT 组受试者平均 HR<sub>max</sub> 为 (199.58±1.52)bpm, 共收集分析了 1 080 个心率数据, 所有受试者达到目标强度。在 12 周干预期间, 训练时心率均值为 HR<sub>max</sub> 的 83.24% (95% CI: 82.75%~83.74%), 受试者间标准差 (standard deviation, SD) 为 1.89%, 受试者内 SD 为 0.24%。

### 2.2 HIIT 对身体成分的影响

干预后, HIIT 组体重、BMI 和腰围减少, 但变化均不显著 ( $P>0.05$ ), CON 组体重、BMI 和腰围增加, 但增加量不显著 ( $P>0.05$ ); 变化率组间差异不显著 ( $P>0.05$ )。HIIT 组体脂率和脂肪重量减少, 变化显著 ( $P<0.05$ ), CON 组体脂率和脂肪重量显著增加; 变化率组间差异显著 ( $P<0.05$ ), 体脂率的干预效果较大 (Cohen's  $d=1.25$ ), 脂肪重量干预效果中等 (Cohen's  $d=1.02$ )。HIIT 组和 CON 组去脂体重变化不显著 ( $P>0.05$ ), 组间无差异 ( $P>0.05$ )。HIIT 组基础代谢显著增加 ( $P<0.05$ ), CON 组不变 ( $P>0.05$ ); 但组间无差异 ( $P>0.05$ )。

### 2.3 HIIT 对心肺耐力的影响

干预后, HIIT 组  $\dot{V}O_{2max}$  显著增加 ( $P<0.05$ ), CON 组变化不显著; 组间干预效果较大 ( $P<0.05$ , Cohen's  $d=2.57$ )。

### 2.4 HIIT 对 PA 的影响

干预后, HIIT 组 MVPA 和 TPA 显著增加 ( $P<0.05$ ), 而 CON 组两者均有所减少, 但未达到显著水平 ( $P>0.05$ ); 组间干预效应均较大 (MVPA:  $P<0.05$ , Cohen's  $d=1.92$ ; TPA:  $P<0.05$ , Cohen's  $d=1.80$ )。

### 2.5 HIIT 对膳食摄入的影响

干预后, HIIT 组和 CON 组的热量摄入少量增加, 但均不显著, 组间干预效果不显著 ( $P>0.05$ )。

### 2.6 PA 对干预效果的影响

采用 HIIT 组 ( $n=30$ ) 和 CON ( $n=32$ ) 共 62 人次数据构建模型。干预效果显著的变量包括: 体脂率、脂肪重量和  $\dot{V}O_{2max}$ 。由于 MVPA 与 TPA 高度相关 ( $r=0.95$ ), 因此分别纳入模型, 模型 1 纳入 MVPA, 模型 2 纳入 TPA。

以体脂率变化率为因变量的零模型 (表 3) 中, HIIT 影响显著; 纳入 MVPA (模型 1) 或 TPA (模型 2) 后, HIIT 影响不显著, PA 影响也不显著。

以脂肪重量变化率为因变量的零模型 (表 4) 中, HIIT 影响显著; 纳入 MVPA (模型 1) 或 TPA (模型 2) 后, HIIT 影响不显著, PA 影响也不显著。

## 3 分析与讨论

研究表明, PA 特别是 MVPA, 与肥胖相关 (Wang et al., 2020)。由于 HIIT 对日常 PA 影响的数据有限, 因此尚不清楚 HIIT 对身体成分的干预效果是否与 PA 水平改变有关。本研究采用的 HIIT 方案具有以下特点: 1) 极短的负荷时间和总运动时间; 2) 以功能性训练替代传统的跑步

或功率车。干预保真度通过训练心率评估, 所有受试者在 36 次训练中均达到目标强度, 且运动强度保持相对一致。12 周干预后, 与 CON 组相比, HIIT 组体脂率、脂肪重量和 PA 显著改善。上述发现拓展了 HIIT 的研究, 青年女性肥胖 (包括正常体重肥胖) 和 PA 不足的问题日益严峻 (Ford et al., 2004; Hirode et al., 2020), 因此, 本研究为改善青年女性日常 PA 和身体成分提供了有效可行的借鉴策略。

表 3 体脂率干预效果混合线性模型

Table 3 Mixed Linear Model of Intervention Effect of Body Fat Percentage

模型	参数	估计值	t	P	95% CI	
					下限	上限
零模型	HIIT	-4.921	4.350	0.000	-6.937	-2.904
模型 1	HIIT	-2.326	-1.530	0.131	-5.369	0.716
	MVPA 变化率	0.002	0.027	0.979	-0.180	0.185
	HIIT×MVPA 变化率	-0.170	-1.447	0.153	-0.406	0.065
模型 2	HIIT	-2.786	-1.903	0.062	-5.717	0.144
	TPA 变化率	0.027	0.308	0.759	-0.149	0.203
	HIIT×TPA 变化率	-0.161	-1.465	0.148	-0.382	0.059

表 4 脂肪重量干预效果混合线性模型

Table 4 Mixed Linear Model of the Intervention Effect of Fat Mass

模型	参数	估计值	t	P	95% CI	
					下限	上限
零模型	HIIT	-6.268	-3.953	0.000	-9.439	-3.096
模型 1	HIIT	-1.884	-0.794	0.430	-6.632	2.864
	MVPA 变化率	0.026	0.180	0.857	-0.259	0.310
	HIIT×MVPA 变化率	-0.311	-1.694	0.096	-0.679	0.056
模型 2	HIIT	-2.783	-1.211	0.231	-7.386	1.819
	TPA 变化率	0.016	0.113	0.910	-0.260	0.291
	HIIT×TPA 变化率	-0.233	-1.347	0.183	-0.580	0.113

### 3.1 HIIT 对身体成分的影响

本研究表明, 为期 12 周的低运动量 HIIT 可以有效减脂, 对脂肪重量的改善效果中等, 对体脂率的改善效果大, 但减重效果并不显著, 这与前人研究结果相似 (Macpherson et al., 2011; Zhang et al., 2021)。Macpherson 等 (2011) 采用了以跑步为运动方式的 HIIT, 包括 30 s 冲刺, 后接 4 min 休息为 1 组, 重复 4~6 组, 6 周后 (每周 3 次) 受试者体脂率和脂肪重量显著下降, 但体重不变。Zhang 等 (2021) 报告了肥胖青年女性在 12 周 HIIT 干预后全身和局部脂肪量减少。Maillard 等 (2018) 研究发现, HIIT 能够显著减少全身、腹部和内脏脂肪量, 同时指出, 腹部脂肪量的减少只能通过计算机断层扫描或磁共振成像检测到, 这可能是本研究中腰围变化不显著的原因。

然而, 另有研究报道了 HIIT 后体脂和体重同时得到

改善。Trapp等(2008)研究发现,15周HIIT(先冲刺8 s后休息12 s为1组,重复60组,训练45次,每次20 min)可使正常体重青年女性体重、脂肪重量和体脂率均显著降低。Tjønnå等(2008)研究发现,受试者完成了16周共48次HIIT后,体重和脂肪重量均显著减少。本研究中,在控制能量摄入后受试者体重无显著变化,一方面可能是由于训练中能量消耗低,不足以引起能量赤字;另一方面可能是由于受试者体重正常。而以往研究发现,超重或肥胖受试者减重效果更显著(D'Amuri et al., 2021; Martins et al., 2016; Tjønnå et al., 2008)。总之,尽管体重未减少,但HIIT可能是一种有效改善青年女性身体成分,预防体重异常增加的措施。

### 3.2 HIIT对PA的影响

前期研究发现,短期低运动量HIIT对非规律运动青年女性的MVPA和TPA具有促进作用(Lu et al., 2022)。本研究考察了12周低运动量HIIT对日常PA的影响,结果与前期研究相似。这表明,低运动量HIIT不会引起这一群体的PA代偿,反而对其日常PA有促进作用,这可能与较低的运动能耗有关。这一发现为公共健康身体活动指南额外提供了一种具有实用性和可行性的干预措施。在以PA促进为目标的实验研究中,广泛采用的干预措施为持续有氧运动、制定目标步数和教育引导。Bailey等(2019)研究发现,青年女性随机分为3组,分别给予每日10 000、12 500、15 000步的运动目标,24周后3组每日步数和MVPA均显著增加,但体重和脂肪重量均未改善。Holliday等(2018)研究发现,采用为期24周,每周150 min的中等强度运动干预,中等强度PA无显著变化,身体成分指标未改善。不同的是,本研究探讨了低运动量HIIT对非规律运动青年女性日常PA的影响,发现低运动量HIIT对MVPA和TPA具有显著促进效果。这可能是因为发生了PA协同效应,增加特定的运动干预会促进整体的PA(Goodman et al., 2011)。已有研究在小学生群体中验证了协同效应,发现步行上学比坐车的学生在放学后更活跃(Cooper et al., 2003)。学生在参加体育课或课后运动的当天PA量更大(Long et al., 2013; Salway et al., 2019)。发生协同效应的原因可能在于HIIT通过改善受试者心肺耐力,提高其PA能力,使其在日常生活中变得更活跃(Raghuveer et al., 2020),本研究中受试者心肺耐力提高也支持了这一观点。因此,相比持续有氧运动,低运动量HIIT可能是一种可用于PA促进的高效方法。

值得注意的是,本研究还发现,MVPA与TPA的变化率高度相关,这表明绝大部分增加的TPA是由MVPA积累的,尽管本研究受试者的PA水平已达到WHO推荐量,但这一发现仍具指导意义,因为PA水平在一定范围内与健康线性相关,较高的PA将带来额外的健康益处(Bull et al., 2020)。

### 3.3 PA对HIIT减脂效果的影响

“activity-stat”假设认为,当增加高强度PA时,为了维持PA或能量平衡,人体会做出生理性的补偿行为,如减少PA、增加久坐时间或能量摄入(Rowland, 1998),该假设常被用于解释HIIT干预效果存在差异的潜在原因。此外,有研究表明,PA与肥胖相关,特别是MVPA(Lear et al., 2017; Wang et al., 2020)。因此,在以身体成分为结果变量的实验研究中,有理由将PA作为控制变量。本研究验证了PA水平变化对HIIT减脂效果存在影响。12周低运动量HIIT后,受试者PA和身体成分同时得到改善。在进一步的模型分析中,PA的纳入削弱了HIIT对身体成分的改善效果。值得关注的是,同时考量HIIT和PA,两者对身体成分的影响均不显著,这可能是由于HIIT干预与PA促进具有较强的相关性。HIIT对身体成分的干预效果是否受到PA促进的影响值得进一步研究,而解释这一问题的关键在于厘清运动强度和运动量对身份成分的影响效果。

以往研究认为,HIIT通过高强度运动同时刺激有氧和无氧功能系统,引起中枢和外周适应,提高身体机能,而PA水平通常用于衡量个体的运动总量(黎涌明, 2015)。因此,将PA纳入对HIIT效果的评价有助于厘清运动强度和运动量对身体成分的影响,为进一步探索HIIT健康促进机制提供思路。本研究显示,HIIT对体脂率和脂肪量的改善受到PA的影响。这与前人研究结论一致,认为在HIIT中脂肪几乎不参与供能(Hargreaves et al., 2020)。提示,改善身体成分的关键因素是运动量,而不是运动强度。HIIT减脂的机制可能是在运动后的恢复过程中,过量氧耗增加了脂肪有氧代谢,用于HIIT过程中大量消耗的磷酸肌酸的再合成和乳酸的移除(刘瑞东等, 2017)。Schuan等(2018)比较了HIIT和MICT运动中及运动后30 min的能量消耗,发现4 min HIIT与30 min MICT运动后能量消耗和过量氧耗相似。一项系统综述发现,与MICT相比,HIIT在运动后3 h内和3 h后均诱导了更高的过氧耗量(Panissa et al., 2021)。Tucker等(2016)衡量了HIIT及MICT运动中和结束后3 h的总氧耗,证据支持HIIT组的总氧耗更多,提示,2种运动方式的脂肪氧化量相似,说明HIIT能用更少的时间达到与MICT相似的减脂效果。Astorino等(2018)研究显示,超过50%的HIIT研究报告了脂肪氧化能力提升,这可能与 $\beta$ -羟丁酸脱氢酶、柠檬酸合成酶、脂肪酸结合蛋白或脂肪酸转移酶显著增加有关,也可能与脂肪组织激素敏感性脂肪酶磷酸化特异性提高有关(刘阳等, 2018)。

此外,已有研究发现,HIIT游泳比数小时低强度运动更能耗尽糖原(Kawanaka et al., 1998)。另有研究发现,HIIT提高了饮食诱导的摄氧量(Tsuji et al., 2017)。尽管运动中的能量消耗低,HIIT在运动后动员了更多的脂肪。因此,低运动量HIIT可能利用短时高强度的运动激活了

机体对脂肪的动员,同时,通过协同效应提高日常 PA 水平,增加脂肪消耗。

#### 4 结论

12 周低运动量 HIIT 可有效提升非规律运动青年女性 MVPA 和 TPA,降低体脂率和脂肪重量,且 PA 水平变化会影响 HIIT 对身体成分的改善效果。低运动量 HIIT 是一种能够切实高效提高青年女性 PA 水平,改善身体成分的干预措施。

#### 参考文献:

- 黎涌明, 2015. 高强度间歇训练对不同训练人群的应用效果[J]. 体育科学, 35(8):59-75.
- 刘瑞东, 曹春梅, 刘建秀, 等, 2017. 高强度间歇训练的应用及其适应机制[J]. 体育科学, 37(7):73-82.
- 刘阳, 梅佳顺, 何玉秀, 2018. 高强度间歇训练通过不同部位 HSL 磷酸化差异性激活减少内脏脂肪积累的机制研究[J]. 体育科学, 38(9):56-64.
- 刘莹, 王乐, 宋晓玲, 2023. 社会生态学视角下青年女性体育活动障碍因素探析[J]. 冰雪体育创新研究(14):191-193.
- 美国运动医学学会, 2019. ACSM 运动测试与运动处方指南[M]. 10 版. 北京:北京体育大学出版社:28-31.
- 杨月欣, 王光亚, 潘兴昌, 2009. 中国食物成分表[M]. 北京:北京大学医学出版社:4-181.
- 中国营养与健康调查问卷, 2015. 食物频率问卷[EB/OL].[2022-03-01]. [https://www.cpc.unc.edu/projects/china/data/questionnaires/C15FFQ\\_Chi.pdf](https://www.cpc.unc.edu/projects/china/data/questionnaires/C15FFQ_Chi.pdf).
- ARISTIZABAL J C, MONTOYA E, SÁNCHEZ Y L, et al., 2021. Effects of low-volume, high-intensity interval training compared with continuous training on regional and global body composition in adults with metabolic syndrome: A post hoc analysis of a randomized clinical trial[J]. *Ann Nutr Metab*, 77(5):279-288.
- ASTORINO T A, SCHUBERT M M, 2018. Changes in fat oxidation in response to various regimes of high intensity interval training (HIIT)[J]. *Eur J Appl Physiol*, 118(1):51-63.
- BAILEY B W, BARTHOLOMEW C L, SUMMERHAYS C, et al., 2019. The impact of step recommendations on body composition and physical activity patterns in college freshman women: A randomized trial[J]. *J Obes*, DOI:10.1155/2019/4036825.
- BATACAN JR R B, DUNCAN M J, DALBO V J, et al., 2017. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies[J]. *Br J Sports Med*, 51(6):494-503.
- BOUTCHER S H, 2011. High-intensity intermittent exercise and fat loss[J]. *J Obes*, DOI:10.1155/2011/868305.
- BULL F C, AL-ANSARI S S, BIDDLE S, et al., 2020. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour[J]. *Br J Sports Med*, 54(24):1451-1462.
- CARBALLO-FAZANES A, RICO-DÍAZ J, BARCALA-FURELOS R, et al., 2020. Physical activity habits and determinants, sedentary behaviour and lifestyle in university students[J]. *Int J Environ Res Public Health*, DOI:10.3390/ijerph17093272.

- COOPER A R, PAGE A S, FOSTER L J, et al., 2003. Commuting to school: Are children who walk more physically active[J]. *Am J Prev Med*, 25(4):273-276.
- COSTIGAN S A, RIDGERS N D, EATHER N, et al., 2018. Exploring the impact of high intensity interval training on adolescents' objectively measured physical activity: Findings from a randomized controlled trial[J]. *J Sports Sci*, 36(10):1087-1094.
- D'AMURI A, SANZ J M, CAPATTI E, et al., 2021. Effectiveness of high-intensity interval training for weight loss in adults with obesity: A randomised controlled non-inferiority trial[J]. *BMJ Open Sport Exerc Med*, DOI:10.1136/bmjsem-2020-001021.
- DE LORENZO A, MARTINOLI R, VAIA F, et al., 2006. Normal weight obese (NWO) women: An evaluation of a candidate new syndrome[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 16(8):513-523.
- FORD M A, BASS M A, TURNER L W, et al., 2004. Past and recent physical activity and bone mineral density in college-aged women[J]. *J Strength Cond Res*, 18(3):405-409.
- FREEDSON P S, MELANSON E, SIRARD J, 1998. Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 30(5):777-781.
- GALLO-VILLEGAS J, CASTRO-VALENCIA L A, PÉREZ L, et al., 2022. Efficacy of high-intensity interval- or continuous aerobic-training on insulin resistance and muscle function in adults with metabolic syndrome: A clinical trial[J]. *Eur J Appl Physiol*, 122(2):331-344.
- GOODMAN A, MACKETT R L, PASKINS J, 2011. Activity compensation and activity synergy in British 8-13 year olds [J]. *Prev Med*, 53(4-5):293-298.
- HARGREAVES M, SPIRIET L L, 2020. Skeletal muscle energy metabolism during exercise[J]. *Nat Metab*, 2(9):817-828.
- HIRODE G, WONG R J, 2020. Trends in the prevalence of metabolic syndrome in the United States, 2011-2016[J]. *JAMA*, 323(24):2526-2528.
- HOLLIDAY A, BURGIN A, FERNANDEZ E V, et al., 2018. Points-based physical activity: A novel approach to facilitate changes in body composition in inactive women with overweight and obesity[J]. *BMC Public Health*, DOI:10.1186/s12889-018-5125-2.
- HOPKINS W G, MARSHALL S W, BATTERHAM A M, et al., 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1):3-13.
- HU M, JUNG M E, NIE J, et al., 2022. Affective and enjoyment responses to sprint interval training in healthy individuals: A systematic review and Meta-analysis [J]. *Front Psychol*, DOI:10.3389/fpsyg.2022.820228.
- ISLAM H, TOWNSEND LK, HAZELL T J, 2018. Excess postexercise oxygen consumption and fat utilization following submaximal continuous and supramaximal interval running [J]. *Res Q Exerc Sport*, 89(4):450-456.
- KAWANAKA K, TABATA I, TANAKA A, et al., 1998. Effects of high-intensity intermittent swimming on glucose transport in rat epitrochlearis muscle[J]. *J Appl Physiol*(1985), 84(6):1852-1857.
- KING N A, HORNER K, HILLS A P, et al., 2012. Exercise, appetite and weight management: Understanding the compensatory responses in eating behaviour and how they contribute to variability in

- exercise-induced weight loss[J]. *Br J Sports Med*, 46(5): 315-322.
- LEAR S A, HU W, RANGARAJAN S, et al., 2017. The effect of physical activity on mortality and cardiovascular disease in 130 000 people from 17 high-income, middle-income, and low-income countries: The PURE study[J]. *Lancet*, 390(10113): 2643-2654.
- LONG M W, SOBOL A M, CRADOCK A L, et al., 2013. School-day and overall physical activity among youth[J]. *Am J Prev Med*, 45(2): 150-157.
- LU Y, WILTSHIRE H D, BAKER J S, et al., 2022. Effects of low-volume high-intensity interval exercise on 24 h movement behaviors in inactive female university students[J]. *Int J Environ Res Public Health*, DOI: 10.3390/ijerph19127177.
- MACPHERSON R E K, HAZELL T J, OLVER T D, et al., 2011. Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1): 115-122.
- MAILLARD F, PEREIRA B, BOISSEAU N, 2018. Effect of high-intensity interval training on total, abdominal and visceral fat mass: A Meta-analysis[J]. *Sports Med*, 48(2): 269-288.
- MAITINIYAZI G, CHEN Y, QIU Y Y, et al., 2021. Characteristics of body composition and lifestyle in Chinese university students with normal-weight obesity: A cross-sectional study[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 14: 3427-3436.
- MANSFELDT J M, MAGKOS F, 2023. Compensatory responses to exercise training as barriers to weight loss: Changes in energy intake and non-exercise physical activity[J]. *Curr Nutr Rep*, 12(2): 327-337.
- MARTINS C, KAZAKOVA I, LUDVIKSEN M, et al., 2016. High-intensity interval training and isocaloric moderate-intensity continuous training result in similar improvements in body composition and fitness in obese individuals[J]. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 26(3): 197-204.
- OFUSA Y, GOLDING L A, 2000. YMCA Fitness Testing and Assessment Manual[M]. Champaign, IL, USA: Human Kinetics: 200-211.
- PANISSA V L G, FUKUDA D H, STAIBANO V, et al., 2021. Magnitude and duration of excess of post-exercise oxygen consumption between high-intensity interval and moderate-intensity continuous exercise: A systematic review[J]. *Obes Rev*, DOI: 10.1111/obr.13099.
- POON E T, LITTLE J P, SIT C H, et al., 2020. The effect of low-volume high-intensity interval training on cardiometabolic health and psychological responses in overweight/obese middle-aged men[J]. *J Sports Sci*, 38(17): 1997-2004.
- POWELL-WILEY T M, POIRIER P, BURKE L E, et al., 2021. Obesity and cardiovascular disease: A scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 143(21): e984-e1010.
- RAGHUVVEER G, HARTZ J, LUBANS D R, et al., 2020. Cardiorespiratory fitness in youth: An important marker of health: A scientific statement from the American Heart Association [J]. *Circulation*, 142(7): e101-e118.
- REICHERT F F, BARROS A J, DOMINGUES M R, et al., 2007. The role of perceived personal barriers to engagement in leisure-time physical activity[J]. *Am J Public Health*, 97(3): 515-519.
- ROWLAND T W, 1998. The biological basis of physical activity[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 30(3): 392-399.
- SABAG A, LITTLE J P, JOHNSON N A, 2022. Low-volume high-intensity interval training for cardiometabolic health[J]. *J Physiol*, 600(5): 1013-1026.
- SALWAY R, EMM-COLLISON L, SEBIRE S J, et al., 2019. The association of school-related active travel and active after-school clubs with children's physical activity: A cross-sectional study in 11-year-old UK children[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, DOI: 10.1186/s12966-019-0832-3.
- SCHAUN G Z, PINTO S S, PRAIA A B C, et al., 2018. Energy expenditure and EPOC between water-based high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training sessions in healthy women[J]. *J Sports Sci*, 36(18): 2053-2060.
- TJØNNA A E, LEE S J, ROGNMO Ø, et al., 2008. Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: A pilot study[J]. *Circulation*, 118(4): 346-354.
- TRAPP E G, CHISHOLM D J, FREUND J, et al., 2008. The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women[J]. *Int J Obes (Lond)*, 32(4): 684-691.
- TREMBLAY A, DESPRÉS J P, BOUCHARD C, 1985. The effects of exercise-training on energy balance and adipose tissue morphology and metabolism[J]. *Sports Med*, 2(3): 223-233.
- TSUJI K, XU Y, LIU X, et al., 2017. Effects of short-lasting supra-maximal-intensity exercise on diet-induced increase in oxygen uptake[J]. *Physiol Rep*, DOI: 10.14814/phy2.13506.
- TUCKER W J, ANGADI S S, GAESSER G A, 2016. Excess postexercise oxygen consumption after high-intensity and sprint interval exercise, and continuous steady-state exercise[J]. *J Strength Cond Res*, 30(11): 3090-3097.
- VIANA R B, NAVES J P A, COSWIG V S, et al., 2019. Is interval training the magic bullet for fat loss? A systematic review and meta-analysis comparing moderate-intensity continuous training with high-intensity interval training (HIIT)[J]. *Br J Sports Med*, 53(10): 655-664.
- WANG Y, SU C, OUYANG Y F, et al., 2020. Secular trends in sedentary behaviors and associations with weight indicators among Chinese reproductive-age women from 2004 to 2015: Findings from the China Health and Nutrition Survey [J]. *Int J Obes (Lond)*, 44(11): 2267-2278.
- WEWEGE M, VAN DEN BERG R, WARD R E, et al., 2017. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: A systematic review and Meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 18(6): 635-646.
- WIJAYATUNGA N N, DHURANDHAR E J, 2021. Normal weight obesity and unaddressed cardiometabolic health risk: A narrative review[J]. *Int J Obes (Lond)*, 45(10): 2141-2155.
- ZHANG H F, TONG T K, KONG Z W, et al., 2021. Exercise training-induced visceral fat loss in obese women: The role of training intensity and modality[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 31(1): 30-43.
- ZHANG M Z, SCHUMANN M, HUANG T, et al., 2018. Normal weight obesity and physical fitness in Chinese university students: An overlooked association[J]. *BMC Public Health*, DOI: 10.1186/s12889-018-6238-3.

(收稿日期:2023-09-13; 修订日期:2023-11-27; 编辑:尹航)