

## 不同强度运动对肥胖大学生身体成分和心肺功能的影响

凌小妹 郭秋菱 刘义豪 张明

中北大学, 山西 太原 030051

**[摘要]**目的: 探讨 12 周高强度间歇训练 (HIIT)、基于最大脂肪氧化强度 (Fatmax) 的持续训练及基于交叉点强度 (COP) 的持续训练对肥胖大学生身体成分和心肺功能的影响差异, 以筛选最优干预方案。方法: 将 60 名肥胖大学生 ( $\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$ ) 随机分为 HIIT 组、Fatmax 组、COP 组和对照组, 每组 15 人。运动干预组进行每周 3 次、共 12 周的监督训练。干预前后, 使用双能 X 线吸收测定法 (DXA) 测量身体成分, 通过最大递增负荷运动测试 (CPET) 测定最大摄氧量 ( $\text{VO}_2\text{max}$ )、Fatmax 和 COP 等指标。结果: 与对照组相比, 三个运动干预组的体重、BMI、体脂率、腰围均显著下降 ( $P < 0.05$ ),  $\text{VO}_2\text{max}$  显著升高 ( $P < 0.05$ )。组间比较显示, HIIT 组在提升  $\text{VO}_2\text{max}$  方面效果最优; Fatmax 组在降低体脂率、减少脂肪质量方面效果最为显著; COP 组各项指标改善效果介于 HIIT 组与 Fatmax 组之间, 但与对照组相比均有显著差异。结论: 三种运动方案均是改善肥胖大学生身体成分和心肺功能的有效手段。HIIT 对于提升心肺耐力效率最高, 而 Fatmax 训练对于减脂效果最具针对性。建议在实践中根据干预主要目标 (减脂或提升心肺) 选择相应方案, 或考虑将两者结合, 以期获得综合效益。

**[关键词]**肥胖大学生; 高强度间歇训练; 最大脂肪氧化强度; 交叉点; 身体成分; 心肺功能

DOI: 10.33142/jscs.v5i5.17654

中图分类号: R589

文献标识码: A

## The Effects of Different Intensities of Exercise on the Body Composition and Cardiopulmonary Function of Obese College Students

LING Xiaomei, GUO Qiuling, LIU Yihao, ZHANG Ming

North University of China, Taiyuan, Shanxi, 030051, China

**Abstract:** Objective: to explore the differences in the effects of 12 week high-intensity interval training (HIIT), continuous training based on maximum fat oxidation intensity (Fatmax), and continuous training based on cross point intensity (COP) on body composition and cardiopulmonary function in obese college students, in order to screen the optimal intervention plan. Method: 60 obese college students ( $\text{BMI} \geq 28 \text{ kg/m}^2$ ) were randomly divided into HIIT group, Fatmax group, COP group, and control group, with 15 people in each group. The exercise intervention group underwent supervised training three times a week for a total of 12 weeks. Before and after intervention, body composition was measured using dual energy X-ray absorptiometry (DXA), and indicators such as maximum oxygen uptake ( $\text{VO}_2\text{max}$ ), Fatmax, and COP were measured using maximum incremental load exercise test (CPET). Result: compared with the control group, the weight BMI, Body fat percentage and waist circumference both significantly decreased ( $P < 0.05$ ), while  $\text{VO}_2\text{max}$  significantly increased ( $P < 0.05$ ). Inter group comparison shows that the HIIT group has the best effect in improving  $\text{VO}_2\text{max}$ ; The Fatmax group showed the most significant effect in reducing body fat percentage and fat mass; The improvement effect of various indicators in the COP group is between the HIIT group and the Fatmax group, but there are significant differences compared to the control group. Conclusion: all three exercise programs are effective means to improve the body composition and cardiopulmonary function of obese college students. HIIT has the highest efficiency in improving cardiovascular endurance, while Fatmax training is the most targeted for reducing fat. It is recommended to choose the appropriate intervention plan based on the main intervention objectives (weight loss or heart and lung improvement) in practice, or consider combining the two in order to achieve comprehensive benefits.

**Keywords:** obese college students; high-intensity interval training; maximum fat oxidation strength; intersection; body composition; cardiopulmonary function

### 引言

大学生作为国家未来发展的重要力量, 其身心健康水平直接关系到个人成长与社会进步。当前, 高校学生年龄多集中于 17~25 岁, 该阶段是形成健康生活方式与稳定身体形态的关键时期。良好的身体形态与积极的生活态度有助于提升大学生的自信心、社交能力及心理韧性。然而, 伴随生活方式的转变, 热量摄入增加与身体活动减少导致

超重和肥胖问题在大学生中日益突出, 已成为不容忽视的公共健康问题<sup>[1]</sup>。肥胖不仅影响大学生的日常社交与心理健康, 更容易诱发多种慢性疾病, 如心血管疾病、II 型糖尿病、代谢综合征以及部分癌症<sup>[2,3]</sup>。此外, 肥胖会增加膝关节等下肢关节的负荷, 加速软骨磨损, 进而引发骨性关节炎, 严重影响运动功能与生活质量。肥胖还被视作一种慢性炎症状态, 可能引起免疫功能紊乱, 增加感染性疾病

病风险<sup>[4]</sup>。因此,对大学生肥胖实施早期有效干预具有重要意义。

运动作为肥胖干预的核心手段,其安全性与有效性已获广泛证实。规律运动有助于调节能量平衡,促进脂肪氧化,改善身体成分<sup>[4]</sup>。然而,运动强度选择不当不仅难以达到预期果,还可能引发运动损伤或过度疲劳。因此,确定适合超重/肥胖人群的高效、安全且易坚持的运动强度,成为运动科学与公共健康领域的重要课题<sup>[3]</sup>。

随着运动能量代谢研究的深入,运动中脂肪与碳水化合物的供能特性逐渐明确。21 世纪初, Achten 与 Brooks 等<sup>[2]</sup>学者提出最大脂肪氧化强度 (Fatmax) 与交叉点 (COP) 概念。Fatmax 指递增负荷运动中脂肪氧化率最高时对应的强度,理论上在该强度下运动可最大化脂肪燃烧效率,尤其适用于减脂目标人群。COP 则表示运动中碳水化合物供能比例开始超过脂肪的转折点,其对应的强度反映了脂肪氧化动力学的关键阈值<sup>[2]</sup>。目前, Fatmax 在国内已有一定研究基础,而 COP 在实际运动处方中的应用尚待深入。

与此同时,高强度间歇训练 (HIIT) 因其时间效率高、健康效益显著而受到广泛关注<sup>[3]</sup>。HIIT 通过高强度运动与低强度恢复交替进行,可在较短时间内有效提升心肺功能与代谢健康水平,其效果不亚于传统中强度持续训练 (MICT),甚至更优<sup>[7]</sup>。HIIT 已在健身与康复领域展现出良好的适用性与安全性<sup>[8]</sup>。

目前,针对肥胖大学生群体,何种运动强度方案 (Fatmax、COP 或 HIIT) 能最优实现减脂与心肺功能改善的双重目标,尚缺乏直接对比研究。因此,本研究通过 12 周随机对照试验,系统比较 HIIT、Fatmax 持续训练与 COP 持续训练对肥胖大学生身体成分与心肺功能的影响,以期精准运动处方的制定提供科学依据。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究以中北大学体适能班学生为研究对象,纳入标准为 BMI 介于  $30.0 \sim 34.9 \text{ kg/m}^2$  的肥胖大学生。采用 G\*Power 3.1.9.7 软件估算样本量,设定效应量 Cohen's  $d=0.8$ ,  $\alpha=0.05$  (单侧检验),统计功效  $(1-\beta)$  为 0.8。最终共招募 60 名受试者 (男 32 名,女 28 名),采用随机数字表法分为四组: HIIT 组、Fatmax 组、COP 组和对照组,每组 15 人 (男 8 女 7)。四组基线资料 (年龄、身高、体重、BMI) 无显著差异 ( $P>0.05$ ),具有可比性。所有受试者均签署知情同意书,研究方案经学校伦理委员会审批。

纳入标准: ①年龄 18~22 岁; ②无生理缺陷; ③自愿参与并能配合完成实验; ④获得学校与监护人同意。

排除标准: ①心、脑、肝、肾、呼吸系统疾病; ②身体发育异常或畸形; ③急性疾病 (如高烧、腹泻); ④近 6 个月内服用激素类药物; ⑤近 2 个月内发生骨折; ⑥医生建议不宜运动。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 运动强度确定

正式实验前,所有受试者完成一次最大递增负荷运动测试 (GXT),用于测定个体 Fatmax、COP 及  $\text{VO}_2\text{max}$ 。测试采用 COSMED 心肺功能代谢仪与 ergoselect II100/200 功率自行车。起始负荷为 50~100W (女性偏低),每 1min 递增 25W,踏频保持 55~65rpm。测试持续至力竭 (心率 $\geq$ 年龄预测最大值、RPE $\geq 19$  或踏频 $< 55\text{rpm}$ )。通过气体代谢数据计算每级负荷脂肪氧化率,绘制脂肪氧化-强度曲线确定 Fatmax; COP 为碳水化合物供能比例超过 50% 时的强度点。

### 1.2.2 运动干预方案

运动干预为期 12 周,每周 3 次 (间隔进行)。每次训练包括 10min 热身、主体训练和 5min 整理活动。

HIIT 组: 功率自行车训练, 4min 高强度 (85%~95%  $\text{HR}_{\text{max}}$ ) 与 3min 低强度恢复 (50%~60%  $\text{HR}_{\text{max}}$ ) 交替,共 4 循环,主体训练约 28min。

Fatmax 组: 以个体 Fatmax 强度持续运动 45min。

COP 组: 以个体 COP 强度持续运动 45min。

对照组: 保持日常活动,不接受组织训练,实验结束后提供运动指导。训练过程全程监控心率 (Polar 表) 与主观疲劳感 (RPE),确保强度准确。

### 1.2.3 测试指标与方法

所有指标于干预前 (0 周) 和干预后 (13 周) 进行测试。

身体形态指标: 身高、体重、BMI、腰围、臀围。

身体成分指标: 采用 InBody 多频率生物电阻抗法测量脂肪质量、体脂率、瘦体重等。

心肺功能指标:  $\text{VO}_2\text{max}$  (GXT 直接测定)、静息心率、血压 (安静 15min 钟后测量)。

能量代谢指标: 干预后再次测定 Fatmax 与 COP 强度,观察其变化。

### 1.2.4 数据处理与统计分析

采用 Excel 与 SPSS 27.0 进行数据处理。计量资料以均值 $\pm$ 标准差表示,组内前后比较采用配对样本  $t$  检验,组间比较采用独立样本  $t$  检验。 $P<0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 研究结果

### 2.1 受试者完成情况

经过 12 周干预,三个运动组的身体成分均得到显著改善 (表 1)。

60 名受试者中,58 人完成全部干预 (HIIT 组 14 人, Fatmax 组 15 人, COP 组 14 人, 对照组 15 人),脱落率 3.3%,提示方案可行性良好。

### 2.2 身体成分指标变化

运动干预后,三组运动组的体重、BMI、体脂率、脂肪质量均较干预前显著下降 ( $P<0.01$ ),且降幅均大于对照组 ( $P<0.01$ )。Fatmax 组在体重、BMI、体脂率和脂肪质量的下降幅度上均显著优于 HIIT 组与 COP 组 ( $P<$

0.05)。HIIT 组瘦体重略有上升趋势，但无统计学意义；其余组瘦体重基本稳定。

表 1 干预前后各组身体成分指标比较

| 指标                       | 组别       | 干预前      | 干预后      | 组内 p 值 |
|--------------------------|----------|----------|----------|--------|
| 体重 (kg)                  | HIIT 组   | 89.5±5.2 | 85.8±5.1 | <0.01  |
|                          | FATmax 组 | 88.7±4.8 | 83.2±4.6 | <0.01  |
|                          | COP 组    | 90.1±5.5 | 86.3±5.3 | <0.01  |
|                          | 对照组      | 89.3±5.0 | 89.6±5.1 | >0.05  |
| BMI (kg/m <sup>2</sup> ) | HIIT 组   | 30.8±1.5 | 29.5±1.4 | <0.01  |
|                          | FATmax 组 | 30.6±1.3 | 28.7±1.2 | <0.01  |
|                          | COP 组    | 31.0±1.6 | 29.7±1.5 | <0.01  |
|                          | 对照组      | 30.7±1.4 | 30.8±1.4 | >0.05  |
| 体脂率 (%)                  | HIIT 组   | 35.2±3.1 | 32.5±2.9 | <0.01  |
|                          | FATmax 组 | 35.8±2.8 | 30.9±2.5 | <0.01  |
|                          | COP 组    | 34.9±3.3 | 31.8±3.0 | <0.01  |
|                          | 对照组      | 35.5±2.9 | 35.7±3.0 | >0.05  |
| 脂肪质量 (kg)                | HIIT 组   | 31.5±3.8 | 27.9±3.5 | <0.01  |
|                          | FATmax 组 | 31.7±3.5 | 25.7±3.0 | <0.01  |
|                          | COP 组    | 31.4±4.2 | 27.5±3.9 | <0.01  |
|                          | 对照组      | 31.7±3.6 | 32.0±3.7 | >0.05  |
| 瘦体重 (kg)                 | HIIT 组   | 58.0±4.1 | 58.3±4.0 | <0.01  |
|                          | FATmax 组 | 57.0±3.8 | 57.5±3.7 | <0.01  |
|                          | COP 组    | 58.7±4.3 | 58.8±4.2 | <0.01  |
|                          | 对照组      | 57.6±3.9 | 57.3±3.8 | >0.05  |

2.3 心肺功能指标变化

12 周运动干预对心肺功能产生了积极影响 (表 2)。

三运动组 VO<sub>2</sub>max 均显著提高 (P<0.01)，HIIT 组提升幅度最大 (P<0.05)。静息心率在各运动组中均显著下降 (P<0.05)；收缩压与舒张压在 HIIT 组和 Fatmax 组中下降显著 (P<0.05)，COP 组变化不显著。

表 2 干预前后各组心肺功能指标比较

| 指标                          | 组别       | 干预前       | 干预后       | 组内 P 值 |
|-----------------------------|----------|-----------|-----------|--------|
| 最大摄氧量 (VO <sub>2</sub> max) | HIIT 组   | 32.5±3.2  | 38.8±3.5  | <0.01  |
|                             | FATmax 组 | 31.8±3.0  | 35.9±3.2  | <0.01  |
|                             | COP 组    | 32.2±3.4  | 36.5±3.6  | <0.01  |
|                             | 对照组      | 32.0±3.1  | 31.7±3.0  | >0.05  |
| 静息心率 (次/分)                  | HIIT 组   | 78.5±6.2  | 72.1±5.8  | <0.05  |
|                             | FATmax 组 | 79.2±5.8  | 74.3±5.5  | <0.05  |
|                             | COP 组    | 77.8±6.5  | 73.5±6.0  | <0.05  |
|                             | 对照组      | 78.0±6.0  | 78.5±6.1  | >0.05  |
| 收缩压 (mmHg)                  | HIIT 组   | 128.5±8.2 | 121.3±7.5 | <0.05  |
|                             | FATmax 组 | 129.2±7.8 | 123.1±7.2 | <0.05  |
|                             | COP 组    | 127.8±8.5 | 124.5±7.9 | >0.05  |
|                             | 对照组      | 128.0±7.9 | 128.5±8.0 | >0.05  |

| 指标         | 组别       | 干预前      | 干预后      | 组内 P 值 |
|------------|----------|----------|----------|--------|
| 舒张压 (mmHg) | HIIT 组   | 82.3±5.1 | 78.5±4.8 | <0.05  |
|            | FATmax 组 | 83.1±4.9 | 79.8±4.7 | <0.05  |
|            | COP 组    | 81.9±5.3 | 80.1±5.0 | >0.05  |
|            | 对照组      | 82.5±5.0 | 82.8±5.1 | >0.05  |

2.4 Fatmax 与 COP 强度的变化

干预后，三运动组 Fatmax 强度均有所提高，Fatmax 组提升最显著 (P<0.05)。COP 强度也发生向右迁移，HIIT 组迁移幅度最大，但组间无显著差异。对照组各项指标均无显著变化。

3 讨论

本研究比较了三种运动方案对肥胖大学生身体成分与心肺功能的影响，结果显示三者均具显著改善作用，但各有侧重。Fatmax 训练在减脂方面效果最优，印证了其在最大化脂肪氧化效率方面的理论优势。HIIT 则在提升 VO<sub>2</sub>max 方面表现突出，可能与其对心肺系统的强烈刺激及 EPOC 效应有关，同时有助于保持瘦体重。COP 训练效果介于二者之间，为基于代谢阈值的运动处方提供了实践依据。

结果表明，运动方案的选择应基于干预目标：减脂为主推荐 Fatmax 训练，提升心肺健康与节省时间则可选择 HIIT。COP 强度可作为综合改善的备选方案。本研究支持个体化运动处方的科学性，建议通过 CPET 测试确定 Fatmax 与 COP，实现精准干预。

4 结论与建议

4.1 结论

12 周 HIIT、Fatmax 与 COP 训练均可有效改善肥胖大学生的身体成分与心肺功能。Fatmax 训练减脂效果最佳，HIIT 在提升心肺耐力与维持肌肉量方面优势明显，COP 训练具综合效益。

4.2 建议

对肥胖人群实施运动干预前，建议进行心肺功能测试，个体化确定 Fatmax 与 COP 强度。根据主要目标选择方案：减脂优先选 Fatmax 训练，强健心肺选 HIIT。未来可探讨 HIIT 与 Fatmax 结合的混合训练模式，以及不同方案对血液指标的影响。高校应加强肥胖防控，推广科学运动测试与指导服务。

基金项目：中北大学第 20 届研究生科技立项：不同强度运动训练对肥胖大学生身体成分和心肺功能的影响研究 (课题编号：20242050)。

[参考文献]

[1]姜勇.我国成人超重肥胖流行现状、变化趋势及健康危害研究[D].北京:中国疾病预防控制中心,2013.  
[2]Brooks GA,Mercier J.Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise:the “crossover” concept[J].J Appl Physiol(1985),1994,76(6):2253-61.

- [3]邓树勋,王健.高级运动生理学理论与应用[M].北京:高等教育出版社,2003.
- [4]尹元媛.FATmax 运动对肥胖高中男生体成分和有氧能力的影响研究[D].天津:天津体育学院,2023.
- [5]刘雷.HIIT 结合 MICT 训练对 12-16 岁肥胖学生影响的实验研究[D].长春:吉林体育学院,2023.
- [6]王帝之.最大脂肪氧化强度和交叉点强度训练对年轻超重女性血脂代谢的影响[D].北京:北京体育大学,2019.
- [7]李晶,朱筠.肥胖症的相关研究进展[A].内分泌代谢病中西医结合研究——临床与基础[C].北京:中国中西医结合学会,2010.
- [8]田麦久.运动训练学[M].北京:北京人民体育出版社,2000.
- [9]郭春雷,王惠君.儿童青少年肥胖研究进展[J].卫生研究,2020,49(3):516-522.
- [10]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):59.
- [11]Tiwari R,Kumar R,Malik S,et al.Analysis of heart rate variability and implication of different factors on heart rate variability[J].Current cardiology reviews,2021,17(5):88-92.
- [12]Yadav R L,Yadav P K,Yadav L K,et al.Association between obesity and heart rate variability indices:an intuition toward cardiac autonomic alteration—a risk of CVD[J].Diabetes,metabolic syndrome and obesity:targets and therapy,2012(12):176.
- [13]Karason K,Møgaard H,Wikstrand J,et al.Heart rate variability in obesity and the effect of weight loss[J].The American journal of cardiology,1999,83(8):352.
- [14]Achten J,Jeukendrup AE.The effect of pre-exercise carbohydrate feedings on the intensity that elicits maximal fat oxidation[J].J Sports Sci,2003,21(12):1017.
- [15]Bezaire V,Heigenhauser GJ,Spriet LL.Regulation of CPT I activity in intermyofibrillar and subsarcolemmal mitochondria from human and rat skeletal muscle[J].Am J Physiol Endocrinol Metab,2004,286(1):85-91.
- [16]Brandou F,Savy-Pacaux AM, Marie J,et al.Comparison of the type of substrate oxidation during exercise between pre and post pubertal markedly obese boys[J].Int J Sports Med,2006,27(5):407-14.
- [17]Cameron OG,Curtis GC, Zelnik T.Circadian fluctuation of plasma epinephrine in supine humans[J].Psychoneuroendocrinology,1987,12(1):350-384.
- [18]张晓涵.交叉点训练和最大脂肪氧化强度训练对超重青年女性糖代谢的影响研究[D].北京:北京体育大学,2019.
- [19]彭永,朱欢,杨梅,等.12 周 FATmax 强度运动对肥胖型非酒精性脂肪肝患者血糖血脂及肝功能的影响[J].基因组学与应用生物学,2022,41(3):648-658.
- [20]宋伟,胡柏平.最大脂肪代谢强度与有氧耐力及 RPE 关系的实验研究[J].陕西师范大学学报(自然科学版),2013,41(1):104-108.
- 作者简介:凌小妹(1997—),女,汉族,山西晋城人,硕士在读,中北大学,研究方向:体育教学;郭秋菱(2004—)女,汉族,山西忻州人,本科在读,中北大学,专业:社会体育指导与管理。