

# 高强度间歇训练对肥胖儿童内脏脂肪和心肺适能的影响

李抒<sup>1</sup>, 曹薏<sup>1</sup>, 邹昱<sup>2</sup>, 唐玉成<sup>1</sup>

(1.深圳大学 体育学院, 广东 深圳 518061; 2.浙江大学 教育学院, 浙江 杭州 310058)

**摘要:** 为观察并比较12周高强度间歇训练(HIIT)和中等强度持续训练(MICT)干预对肥胖儿童内脏脂肪和心肺适能的改善作用。60名肥胖儿童(11.0±0.8)岁, 男女生各30人随机分为HIIT组, MICT组和CON组。HIIT组进行强度为100%~110%最大有氧速度的高强度间歇训练; MICT组进行强度为70%~80%最大有氧速度的中等强度持续训练。干预前后分别测量受试者的身体成分、内脏脂肪、最大摄氧量、收缩压和舒张压, 利用SPSS 22.0软件对测试结果进行统计学分析, 采用一般线性模型单变量分析和简单效应模型比较各指标的组内和组间差异, 并通过Pearson相关性分析观察各指标变化之间的关系。结果: 12周干预后组内比较的结果显示, HIIT和MICT组受试者的BMI和躯干脂肪较干预前显著减少, 最大摄氧量显著增加; HIIT组的内脏脂肪面积和MICT组的全身脂肪含量较干预前显著减少; 组间比较结果显示, HIIT对最大摄氧量的增加和对内脏脂肪的减少作用显著大于MICT, 而MICT对全身脂肪和下肢脂肪的减少作用显著大于HIIT; 相关性分析结果显示, 内脏脂肪和全身脂肪含量的减少与最大摄氧量的增加呈负相关( $r$ 分别为-0.78和-0.75,  $P<0.01$ ), 内脏脂肪的减少与舒张压的下降呈正相关( $r=0.45$ ,  $P<0.01$ )。结果说明: 高强度间歇训练和中等强度持续训练对肥胖儿童身体成分的改善和心肺适能的提高具有积极作用, 而高强度间歇训练对内脏脂肪的减少及最大摄氧量的提高效果更好。考虑到高强度间歇训练省时, 且更符合儿童短时、爆发式的运动模式, 未来应扩大样本量, 开展更多基于学校的干预研究, 以寻找长效管理儿童肥胖的运动干预模式。

**关键词:** 运动生理学; 高强度间歇训练; 肥胖; 内脏脂肪; 心肺适能; 儿童

**中图分类号:** G804.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7116(2023)04-0138-07

## Effects of high-intensity interval training on visceral adipose tissue and cardiorespiratory fitness in children with obesity

LI Shu<sup>1</sup>, CAO Meng<sup>1</sup>, ZOU Yu<sup>2</sup>, TANG Yucheng<sup>1</sup>

(1. School of Physical Education, Shenzhen University, Shenzhen 518061, China;

2. College of Education, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

**Abstract:** The present study aimed to investigate the effect of high-intensity interval training (HIIT) and moderate-intensity continuous training (MICT) on visceral adipose tissue and cardiorespiratory fitness in children with obesity over 12 weeks. Sixty obese children (11.0 ± 0.8) years, 30 boys and girls respectively were randomized to HIIT, MICT and CON groups. HIIT group with high-intensity at 100%~110% maximal aerobic speed and MICT group with moderate-intensity at 70%~80% maximal aerobic speed. Body composition, visceral adipose tissue, VO<sub>2</sub>max, systolic blood pressure and diastolic blood pressure were measured before and after intervention respectively. The measurements were analyzed by SPSS 22.0, and between-group and within-group differences were compared by univariate analysis by general linear model and simple effect model, and the relationship between the changes of

收稿日期: 2022-07-18

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(16YJC890021); 2022年体育总局科技创新项目(22KJCX035); 广东省哲学社会科学“十三五”规划青年项目(GD20YTY02)。

作者简介: 李抒(1989-), 女, 助教, 硕士, 研究方向: 运动与健康促进。E-mail: 197131021@qq.com

each outcome was observed by Pearson correlation analysis. Results showed that: within-group comparison after 12 weeks showed that BMI and trunk fat in HIIT and MICT groups were significantly decreased than baseline, VO<sub>2</sub>max was significantly increased. Visceral adipose tissue in HIIT group and whole-body fat in MICT group were significantly decreased than baseline. Between-group comparison showed that HIIT significantly increase VO<sub>2</sub>max and decrease visceral adipose tissue than MICT, while MICT had significantly decrease the whole-body fat and lower limb fat than HIIT. Correlation analysis demonstrated that the reduction of visceral adipose tissue and whole-body fat were negatively correlated with the increment of VO<sub>2</sub>max ( $r$  was  $-0.78$  and  $-0.75$ ,  $P < 0.01$ ), and the reduction of VAT was positively correlated with the reduction of diastolic blood pressure ( $r = 0.45$ ,  $P < 0.01$ ). Conclusions revealed that: HIIT and MICT have positive effect on body composition and CRF of obese children, while HIIT has a better effect on decreasing visceral adipose tissue and increasing VO<sub>2</sub>max. Considering HIIT have more time-efficient and in line with children's exercise mode which short and burst, future study should expand sample size and examine more school-based intervention, in order to find a long-term exercise intervention model for childhood obesity management.

**Keywords:** sports physiology; high-intensity interval training; obesity; visceral adipose tissue; cardiorespiratory fitness; children

儿童肥胖是全球面临的严重公共卫生问题之一<sup>[1]</sup>。近几十年,我国儿童青少年超重肥胖检出率持续上升,预计到2030年将达到28.0%<sup>[2]</sup>。肥胖儿童比体重正常同龄人的心肺适能更低,从而具有更高的全因死亡率和心血管疾病风险<sup>[3]</sup>。此外,肥胖引起内脏脂肪组织(visceral adipose tissue, VAT)的异常堆积,导致异位脂肪沉积,肿瘤坏死因子(TNF- $\alpha$ )、白细胞介素6和1 $\beta$ (IL-6, IL-1 $\beta$ )等多种促炎症因子的释放增加,诱导与胰岛素抵抗相关的慢性炎症,最终增加心血管疾病的发生风险<sup>[4]</sup>。不仅如此,内脏脂肪的过度堆积还会对儿童的大脑健康和认知功能造成严重危害<sup>[5]</sup>。

运动被认为是体重管理和促进健康的最佳手段,运动干预比单纯的药物治疗或限制饮食在提高肥胖儿童心肺适能和内脏脂肪的减少方面可能更具优势<sup>[6]</sup>。世界卫生组织建议儿童青少年每天应进行60 min以上的高强度体力活动以保持心肺健康。有氧运动又称为中等强度持续训练(moderate-intensity continuous training, MICT),是最常用的运动方式,其在促进脂肪氧化、管理肥胖、改善心血管和代谢健康方面的积极作用已得到广泛证实<sup>[7]</sup>。然而,MICT对外周脂肪(体脂率)的减少作用显著,对内脏脂肪的改善效果并不明显<sup>[9]</sup>。研究表明,较高的运动强度可能对内脏脂肪的减少具有更显著的效果,而大规模流行病学调查结果同样表明,高强度运动似乎更有益于健康<sup>[9]</sup>。

高强度间歇训练(high-intensity interval training, HIIT)是以较短的时间(6 s ~ 4 min)和较高的强度(85%~95% HR<sub>max</sub>)运动为主,中间间隔较低强度(40%~70% HR<sub>max</sub>)的运动或安静恢复的一种运动训练形式,近年来因其高效的减脂作用被广泛应用于肥胖

干预领域<sup>[6]</sup>。最近的一些研究证实了HIIT对肥胖儿童身体成分、心肺适能和代谢健康指标的改善作用<sup>[10]</sup>。此外,系统综述的结果表明,HIIT能有效减少肥胖成年人的内脏脂肪,且相比MICT更省时高效<sup>[11]</sup>。尽管有关肥胖儿童青少年的HIIT干预研究逐渐增多,但HIIT对内脏脂肪影响的研究较少,且结果存在争议,梁晋裕等<sup>[12]</sup>的研究结果显示12周HIIT(强度为最大跑步速)显著减少了肥胖儿童内脏脂肪面积(-6.2 cm<sup>2</sup>,  $P < 0.05$ ),而Dias等<sup>[13]</sup>同样采用12周HIIT(强度为85%~95% HR<sub>max</sub>)干预,并未发现内脏脂肪发生改变。除此之外,鲜有关于HIIT对肥胖儿童内脏脂肪影响的研究报道。因此,本研究旨在观察12周运动干预对肥胖儿童内脏脂肪和心肺适能的影响,并比较HIIT和MICT之间的差异,探索更适合儿童肥胖管理的运动干预形式。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究属于随机对照试验(randomized controlled trial, RCT),试验注册号为:ChiCTR2100048737。受试者及其法定监护人在充分了解实验详情后均签署知情同意书,并通过PAR-Q健康问卷筛查。本研究得到了深圳大学医学部医学伦理委员会的批准(PN-2020-045)。由于体脂率是本研究关注的主要指标,基于先前研究中运动干预对体脂率影响的meta分析<sup>[14]</sup>,通过G-power3.1软件(version 3.1 for windows, Düsseldorf, Germany)计算样本量。检验效能(1- $\beta$ )设为0.80, I类错误 $\alpha$ 发生率设为0.05,干预前后的相关性为0.80,效应量为0.32,计算得出每组所需样本量

应为 12 人。考虑到 20% 的脱落率, 则每组至少需要 14 人。根据《中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数值分类标准》<sup>[15]</sup>, 最终按照年龄和性别筛选出符合纳入排除标准的肥胖儿童共 60 人(男女生各 30 人, 年龄为 $(11.0 \pm 0.8)$ 岁, BMI 为 $(24.2 \pm 1.1)$ kg/m<sup>2</sup>), 参与本研究。由 SPSS 22.0 软件产生随机数字后, 根据“信封法”将 60 名受试者按男女生 1:1 的比例随机分配到 HIIT 组、MICT 和 CON 组。

纳入标准: (1)根据年龄和性别标准, BMI 属于肥胖者; (2)年龄为 10~13 周岁的在校儿童; (3)实验前 3 个月内, 除体育课外未进行任何规律的体育锻炼; (4)自愿参与实验且本人及监护人均签署知情同意书。排除标准: (1)有慢性疾病正在服用药物治疗者; (2)有心、脑、肺、肾及运动系统等严重器质性病变者; (3)患有精神疾病或有病史者; (4)不能完成随访或顺应性差者; (5)不愿签署知情同意书者。

## 1.2 测试指标与方法

### 1) 身体成分。

受试者赤足, 穿轻薄衣服完成站立身高和体质量测量。身高和体质量分别使用身高计量仪和 Tanita WB-300 数字秤(Tanita, Tokyo, Japan)测量。体质量指数(body mass index, BMI)通过体质量(kg)/身高(m)的平方计算。利用双能 X 线骨密度仪(dual energy X-ray absorptiometry, DXA, Lunar Prodigy, GE Healthcare, USA)测量全身和局部软组织。为减少测量误差, 设备均由医院同一医师操作, 受试者空腹, 穿着轻薄贴身衣物, 采取平卧姿势, 选择 DXA 标准模式进行测量, 不可佩戴戒指、项链等金属物品。使用 DXA Hologic 4.0 软件自动获得全身脂肪百分比、上肢脂肪含量、下肢脂肪含量、躯干脂肪、VAT 面积。VAT 面积由自动算法估算, 该算法模拟第 4 腰椎的皮下腹部脂肪组织(subcutaneous abdominal adipose tissue, SAAT), 并从局部腹部脂肪组织中减去 SAAT。躯干脂肪百分比是从包括胸部和腹部区域的较大区域估计的。

### 2) 心肺适能。

最大摄氧量(maximum oxygen uptake, VO<sub>2max</sub>)是反映心肺适能(cardiorespiratory fitness, CRF)的金指标, 考虑到现实实验条件和测试的便利性, 本研究采用 20 m 往返跑测试(20-m multistage shuttle run test, 20-mSRT)测量受试者的 VO<sub>2max</sub>。20-mSRT 是测量儿童青少年 VO<sub>2max</sub> 的常用方法, 其有效性和可靠性已得到国内外研究的证实<sup>[16]</sup>。根据先前的研究<sup>[17]</sup>, 受试者全程佩戴 Polar 心率带(polar team pro, Polar, Kempele, Finland), 通过 20-mSRT 测量受试者的 VO<sub>2max</sub> 和最大有氧速度(maximal aerobic speed, MAS), 具体计算公式如下:

MAS=8.5+0.5×20-mSRT 终止时达到的最高级别;

VO<sub>2max</sub>(mL·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)<sup>[18]</sup>=41.76 799+(0.49 261×次数)-(0.00 290×次数<sup>2</sup>)-(0.61 613×BMI)+(0.34 787×性别×年龄); 其中性别为: 男生=1, 女生=0。

### 3) 血压和心率。

使用欧姆龙电子血压计(HBP-1300, Omron, Japan)测量血压。受试者静坐 10 min, 其间测量 3 次, 每次间隔 1 min, 取 3 次测量结果的最低值。测量血压的同时受试者佩戴 Polar 心率带测量安静心率(resting heart rate, HR<sub>rest</sub>), 在 VO<sub>2max</sub> 测试时, 20-mSRT 过程中达到的最高心率作为受试者的最大心率(maximal heart rate, HR<sub>max</sub>)。

## 1.3 运动干预方案

正式运动干预前进行两周适应性训练, 除热身与拉伸活动外, 还进行冲刺跑和往返跑等训练。运动干预均在室外田径场进行, 每周 3 次, 隔天进行(如周一、三、五), 周末休息。MICT 组运动强度为 60%~80% MAS(约 70%~80% HR<sub>max</sub>, 持续时间从 20 min (1~4 周)逐渐增加至 40 min(9~12 周)。HIIT 组参考 Baquet 等<sup>[19]</sup>的运动方案制定, 负荷时间和间歇时间都为 15 s, 负荷强度和间歇强度为 100%~120% MAS(>80% HR<sub>max</sub>)、50% MAS, 每次 3 组, 每组 8 个回合, 组间休息 3 min (见表 1)。为适应受试者运动能力的提升, 每 4 周进行 1 次 20-mSRT 以调整和更新 MAS。受试者的完成率被定义为完成计划总训练课次数 80%以上(即完成本研究的 36 次训练课中的 29 次及以上)。

## 1.4 饮食控制

本研究并未对受试者进行严格控制饮食, 整个实验过程为自由饮食, 采取在实验前后利用膳食调查表统计分析受试者的能量摄入变化。在干预前、后对所有受试者均进行了 4 d 的 24 h 膳食调查回顾问卷(包括 3 个上学日和 1 个周末日), 来确定受试者的日常能量摄入和日常饮食构成。同时, 利用薄荷健康软件(薄荷信息科技有限公司, 上海, 中国)对食物的分量和能量进行估算和记录。由研究人员和家长进行图片对照来帮助受试者估计食物的分量, 并统一在学校教室、专业教师的指导下填写 24 h 膳食回顾询问表。

## 1.5 数理统计分析

采用 SPSS 22.0 对数据进行统计学分析, 结果采用均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )的形式表示。所有数据通过 K-S 检验和 Levene's 检验分别检验数据的正态性和方差同质性, 采用单因素方差分析(one-way ANOVA)比较基础值和干预前后的差值之间是否存在显著差异, 而后采用一般线性模型(general linear model, GLM)中的单变量分析对干预前后受试者的身体成分、内脏脂肪和心

肺适能等指标进行分析,并且比较组间因子(不同组别)和组内因子(干预前、后)的差异,组别 $\times$ 时间的交互作用显著( $P<0.05$ )再进行简单效应分析,采用

Bonferroni 进行两两比较和事后检验。采用 Pearson 相关检验指标变化之间的相关关系。显著性水平设置为双尾  $P<0.05$ 。

表1 HIIT组和MICT组的运动干预方案

组别	干预因素	1~4周	5~8周	9~12周
HIIT( $n=20$ )	负荷时间/s	15	15	15
	间歇时间/s	15	15	15
	负荷强度	100% MAS	110% MAS	120% MAS
	间歇强度	50% MAS	50% MAS	50% MAS
	重复次数	8	8	8
	组数	2	2	2
	组间休息/s	180	180	180
	运动时平均心率/(次 $\cdot$ min $^{-1}$ )	163 $\pm$ 16	168 $\pm$ 13	165 $\pm$ 14
	持续时间/min	11	11	11
	完成率/%	91 $\pm$ 2	85 $\pm$ 11	91 $\pm$ 7
MICT( $n=20$ )	负荷强度	60% MAS	70% MAS	80% MAS
	运动时平均心率/(次 $\cdot$ min $^{-1}$ )	137 $\pm$ 11	142 $\pm$ 13	141 $\pm$ 12
	持续时间/min	20	30	40
	完成率/%	84 $\pm$ 4	85 $\pm$ 12	87 $\pm$ 7

## 2 结果与分析

符合纳入标准的126名肥胖儿童有60名(47.6%)自愿加入本研究。66名肥胖儿童不愿参加( $n=46$ )或其他原因( $n=20$ )被排除。运动干预期间未发生损伤,13名受试者因个人原因未完成实验:HIIT组4人、MICT组5人、CON组4人,其数据在统计分析时被剔除。最终共有47名肥胖儿童完成了本研究。三组受试者干预前后日常能量摄入没有发生具有统计学显著意义的变化(12 624 $\pm$ 1 038)kJ/d, (12 791 $\pm$ 1 096)kJ/d, (12 599 $\pm$ 594)kJ/d,  $P>0.05$ 。表2展示了各组受试者的干预前后身体成分、各部分脂肪含量、心肺适能和血压的变化。

### 2.1 HIIT和MICT对肥胖儿童身体成分的影响

BMI和躯干脂肪含量的比较结果显示,HIIT和MICT组受试者均低于干预前值,且差异具有统计学显著意义( $P<0.01$ );HIIT组受试者的内脏脂肪面积(-8.9 cm $^2$ )较干预前减少,减少幅度大于MICT组(-4.5 cm $^2$ ),且差异具有统计学显著意义( $P<0.05$ );MICT组受试者的体脂含量较干预前降低,减少幅度显著大于HIIT组(-2.5 kg vs. -1.6 kg),差异具有统计学显著意义( $P<0.05$ );运动组受试者的体脂百分比,瘦体重,腰围和上、下肢脂肪含量等指标未发生具有统计学显著意义的改变( $P>0.05$ )。

表2 各组受试者干预前、后各指标及其变化( $\bar{x}\pm s$ )

指标	HIIT( $n=16$ )		
	干预前	干预后	后-前
能量摄入/(kJ $\cdot$ d $^{-1}$ )	12 624 $\pm$ 1 038	12 917 $\pm$ 673	293 $\pm$ 832
体重/kg	55.5 $\pm$ 8.5	52.7 $\pm$ 7.5	-2.8 $\pm$ 2.1 <sup>2)</sup>
BMI/(kg $\cdot$ m $^{-2}$ )	24.2 $\pm$ 1.3	22.8 $\pm$ 0.9 <sup>1)</sup>	-1.4 $\pm$ 0.9 <sup>2)</sup>
体脂百分比/%	35.4 $\pm$ 5.8	34.2 $\pm$ 5.1	-1.3 $\pm$ 1.8 <sup>2)</sup>
体脂含量/kg	19.4 $\pm$ 2.5	17.8 $\pm$ 2.4	-1.6 $\pm$ 0.8 <sup>2),3)</sup>
瘦体重/kg	34.3 $\pm$ 7.8	33.7 $\pm$ 7.1	-1.2 $\pm$ 2.1 <sup>2)</sup>
腰围/cm	87.0 $\pm$ 8.7	86.0 $\pm$ 6.9	-1.1 $\pm$ 2.9 <sup>2)</sup>
内脏脂肪面积/cm $^2$	70.7 $\pm$ 9.5	61.8 $\pm$ 7.7 <sup>1)</sup>	-8.9 $\pm$ 4.5 <sup>2),3)</sup>
上肢脂肪/kg	2.6 $\pm$ 0.4	2.5 $\pm$ 0.4	-0.1 $\pm$ 0.2 <sup>2)</sup>
下肢脂肪/kg	7.8 $\pm$ 1.5	7.6 $\pm$ 1.4	-0.2 $\pm$ 0.4 <sup>2),3)</sup>
躯干脂肪/kg	8.9 $\pm$ 1.0	7.7 $\pm$ 1.0 <sup>1)</sup>	-1.3 $\pm$ 0.7 <sup>2)</sup>
最大摄氧量/(mL $\cdot$ kg $^{-1}\cdot$ min $^{-1}$ )	40.4 $\pm$ 2.4	45.4 $\pm$ 2.6 <sup>1)</sup>	5.0 $\pm$ 1.8 <sup>2),3)</sup>
HR $_{max}$ /(次 $\cdot$ min $^{-1}$ )	193.3 $\pm$ 3.6	194.4 $\pm$ 3.4	1.1 $\pm$ 1.2 <sup>2)</sup>
HR $_{rest}$ /(次 $\cdot$ min $^{-1}$ )	76.9 $\pm$ 3.7	74.0 $\pm$ 2.4 <sup>1)</sup>	-2.9 $\pm$ 2.4 <sup>2)</sup>
SBP/mmHg	114.3 $\pm$ 6.2	111.9 $\pm$ 4.7	-2.4 $\pm$ 4.2
DBP/mmHg	68.5 $\pm$ 4.5	66.1 $\pm$ 2.4	-2.4 $\pm$ 4.6

(续上表)

指标	MICT( <i>n</i> =15)		
	干预前	干预后	后-前
能量摄入/(kJ·d <sup>-1</sup> )	3 056±262	3 003±218	-53±225
体重/kg	57.0±7.3	54.3±7.0	-2.8±1.2 <sup>2)</sup>
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	24.3±1.1	22.9±1.3 <sup>1)</sup>	-1.5±0.5 <sup>2)</sup>
体脂百分比/%	36.5±5.1	33.9±5.7	-2.6±1.7 <sup>2)</sup>
体脂含量/kg	20.6±2.4	18.1±2.4 <sup>1)</sup>	-2.5±1.1 <sup>2)</sup>
瘦体重/kg	36.6±6.9	36.2±7.2	-0.5±1.2
腰围/cm	82.1±5.1	80.0±4.7	-2.3±1.3 <sup>2)</sup>
内脏脂肪面积/cm <sup>2</sup>	68.3±14.9	63.8±14.4	-4.5±3.4 <sup>2)</sup>
上肢脂肪/kg	2.7±0.4	2.5±0.3	-0.2±0.2 <sup>2)</sup>
下肢脂肪/kg	8.7±1.3	7.5±1.3 <sup>1)</sup>	-1.2±0.5 <sup>2)</sup>
躯干脂肪/kg	9.2±1.0	8.1±1.1 <sup>1)</sup>	-1.1±0.7 <sup>2)</sup>
最大摄氧量/(mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	40.5±2.9	44.2±2.7 <sup>1)</sup>	3.8±1.3 <sup>2)</sup>
HR <sub>max</sub> /(次·min <sup>-1</sup> )	196.1±3.1	197.2±2.7	1.1±1.3 <sup>2)</sup>
HR <sub>rest</sub> /(次·min <sup>-1</sup> )	76.6±3.0	73.9±3.3 <sup>1)</sup>	-2.8±2.1 <sup>2)</sup>
SBP/mmHg	114.8±7.1	113.2±6.3	-1.6±3.4
DBP/mmHg	70.7±3.8	69.0±3.5	-1.7±2.6

  

指标	CON( <i>n</i> =16)		
	干预前	干预后	后-前
能量摄入/(kJ·d <sup>-1</sup> )	3 010±142	3 051±156	50±195
体重/kg	55.8±5.8	58.0±5.9	2.2±1.5
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	23.6±0.6	24.3±0.8	0.6±0.6
体脂百分比/%	35.8±4.9	37.9±4.9	2.1±1.3
体脂含量/kg	19.8±2.2	21.8±2.5	2.0±0.7
瘦体重/kg	36.0±5.7	36.2±5.7	0.2±1.4
腰围/cm	82.4±5.4	82.9±5.2	1.4±2.7
内脏脂肪面积/cm <sup>2</sup>	71.3±13.0	75.9±14.0	5.0±3.8
上肢脂肪/kg	2.7±0.3	2.9±0.3	0.2±0.1
下肢脂肪/kg	8.0±1.3	8.7±1.6	0.7±0.5
躯干脂肪/kg	9.1±0.9	10.2±1.0 <sup>1)</sup>	1.1±0.6
最大摄氧量/(mL·kg <sup>-1</sup> ·min <sup>-1</sup> )	41.1±2.3	41.4±2.0	0.3±1.1
HR <sub>max</sub> /(次·min <sup>-1</sup> )	194.6±4.0	194.3±3.9	-0.3±1.8
HR <sub>rest</sub> /(次·min <sup>-1</sup> )	76.4±2.5	75.6±1.9	-0.9±1.6
SBP/mmHg	116.8±5.0	117.1±5.0	0.3±1.7
DBP/mmHg	70.1±4.3	70.3±4.8	0.3±3.2

1)与干预前值比较,  $P<0.05$ ; 2)与 CON 组比较,  $P<0.05$ ; 3)与 MICT 组比较,  $P<0.05$ 

## 2.2 HIIT 和 MICT 对肥胖儿童心肺适能的影响

与干预前值相比, HIIT 和 MICT 组受试者的  $VO_{2max}$  均发生了提高, 且 HIIT 组( $5.0 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )的提高幅度大于 MICT 组( $3.8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ), 差异具有统计学非常显著意义( $P<0.01$ ); 与干预前值相比, HIIT 和 MICT 组受试者的收缩压和舒张压发生了不同程度下降, 但差异无统计学显著意义( $P>0.05$ )。

## 2.3 全身和内脏脂肪变化与 $VO_{2max}$ 和血压变化的关系

Pearson 相关分析结果显示, 全身脂肪含量以及内脏脂肪面积的变化与  $VO_{2max}$  呈负相关关系, 相关系数分别为  $r=-0.75$  和  $r=-0.78$ , 相关关系具有统计学非常显著意义( $P<0.01$ ); 此外, 舒张压的变化与内脏脂肪面积呈正相关关系, 相关系数  $r=0.45$ , 相关关系具有统计学非常显著意义( $P<0.01$ ), 与全身脂肪含量的变化无

统计学显著意义的相关。

## 3 讨论

现有的研究已证实, 肥胖导致心肺适能降低和内脏脂肪过度积累是心血管疾病的独立危险因素, 因此运动对心肺适能的增加, 以及对内脏脂肪的减少作用对于儿童肥胖管理具有重要意义<sup>[4-5]</sup>。目前, 国内外有关 HIIT 干预成年人肥胖的相关研究较多, 对肥胖儿童, 特别是改善心肺适能和内脏脂肪的研究鲜有报道<sup>[21-22]</sup>。因此, 本研究以肥胖儿童为研究对象, 通过两种形式运动干预(HIIT 和 MICT), 验证并比较其对身体成分、心肺适能和内脏脂肪的干预作用。

本研究中, 两运动组肥胖儿童的身体成分、心肺适能较对照组和干预前均发生了改善与提高, 说明

HIIT 和 MICT 可以降低体脂、提高有氧能力,有效管理肥胖。从运动组的对比来看,HIIT 对内脏脂肪面积的减少以及  $VO_{2max}$  的提高优于 MICT,而 MICT 在外周脂肪含量的减少方面优于 HIIT。目前,HIIT 方案对内脏脂肪的干预研究较少且存在争议,如 Dias 等<sup>[13]</sup>的研究结果与本研究不同,他们采用  $4 \times 4$  设计的 HIIT 方案并未观察到肥胖儿童的内脏脂肪显著减少。而 HIIT 减少内脏脂肪的主要机制可能是高强度运动后儿茶酚胺等激素的释放增加,从而促进内脏脂肪更高程度脂解<sup>[20]</sup>。从实际应用角度来看,建议内脏脂肪含量高的肥胖儿童选择 HIIT 作为锻炼手段,外周脂肪高则更应选择 MICT。近年来的研究表明,肥胖儿童内脏脂肪的减少,不仅有利于心血管疾病风险的降低,更有助于儿童脑健康和认知能力的提高<sup>[5]</sup>,未来应扩大样本量深入探索 HIIT 对肥胖儿童内脏脂肪的干预作用及其分子机制,进一步明确 HIIT 的最优方案。

心肺适能以  $VO_{2max}$  为主要评价指标,反映机体向肌肉运送氧气和能量物质的能力<sup>[23]</sup>。肥胖儿童心肺适能普遍低于正常体重同龄人,从而具有更高的心血管疾病、全因死亡和癌症发生风险<sup>[24]</sup>。本研究发现 12 周 HIIT 能够有效提高肥胖儿童的  $VO_{2max}$ ,目前对于 HIIT 提高心肺适能的机制主要有以下共识:一是 HIIT 能大幅改善肱动脉血流介导的血管舒张(血管内皮功能)从而更大程度的提高  $VO_{2max}$ ;二是 HIIT 诱导的氧利用率增加(例如最大心输出量,总血红蛋白和血浆数量的增加)和(或)促进了工作肌氧气输送效率的提高等适应性变化有效改善了机体利用和输送氧的能力<sup>[25-26]</sup>。

虽然探讨内脏脂肪、全身脂肪、 $VO_{2max}$ ,以及血压之间的关系不是本研究的主要目的,但相关性分析的结果发现,内脏脂肪和全身脂肪均与  $VO_{2max}$  呈负相关关系,这和肥胖儿童比正常体重同龄人心肺适能更低相一致<sup>[27]</sup>。此外,肥胖儿童与高血压的发生风险密切相关,本研究发现只有内脏脂肪与舒张压呈正相关关系,表明有效减少内脏脂肪,进而降低心血管疾病的发生风险可能是儿童肥胖管理的重要目标<sup>[28-29]</sup>。

本研究充分考虑到可在学校执行的运动方案,例如采用更适合在学校进行,适合大样本量使用的 20 m 往返跑测量  $VO_{2max}$ ,采用无需额外器材的跑步作为 HIIT 方案的形式,并采用最大有氧速度作为强度判断依据等,提高了研究成果的实践应用价值。本研究探讨两种形式运动对肥胖儿童身体成分和心肺适能影响的同时,也探讨了内脏脂肪、全身脂肪、 $VO_{2max}$  和血压变化之间的相关关系,为今后儿童肥胖管理明确了参考指标。但本研究也存在不足,例如样本量较小,未能涉及 HIIT 减少内脏脂肪和提高  $VO_{2max}$  的机制问题。

综上所述,本研究对于肥胖儿童的运动干预具有重要指导意义,每周 3 次的高强度间歇训练对肥胖儿童身体成分的改善、心肺适能的提高和内脏脂肪的减少具有重要作用。结合高强度间歇训练时间高效性,且更符合儿童短时、爆发式的运动模式,未来应基于学校开展更大样本量的干预研究,以寻找管理儿童肥胖的有效运动干预策略及其长效机制。

## 参考文献:

- [1] LOBSTEIN T, JACKSON-LEACH R, MOODIE M, et al. Child and adolescent obesity: Part of a bigger picture[J]. *Lancet*, 2015, 385(9986): 2510-2520.
- [2] 张娜, 马冠生.《中国儿童肥胖报告》解读[J]. *营养学报*, 2017, 39(6): 530-534.
- [3] RAGHUVVEER G, HARTZ J, LUBANS D R, et al. Cardiorespiratory Fitness in Youth: An Important Marker of Health: A Scientific Statement From the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2020, 142(7): e101-e118.
- [4] 李印东, 李梦龙, 段军伟. 北京市超重肥胖儿童内脏脂肪指数与非酒精性脂肪肝的关系[J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(05): 659-662.
- [5] RAINE L, DROLLETTE E, KAO SC, et al. The associations between adiposity, cognitive function, and achievement in children[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2018, 50(9): 1868-1874.
- [6] PLAUSIC L, KNEZEVIC OM, SOVTIC A, et al. Effects of high-intensity interval training and nutrition advice on cardiometabolic markers and aerobic fitness in adolescent girls with obesity[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2020, 45(3): 294-300.
- [7] 中华医学会儿科学分会内分泌遗传代谢学组, 中华医学会儿科学分会儿童保健学组, 中华医学会儿科学分会临床营养学组. 中国儿童肥胖诊断评估与管理专家共识[J]. *中华儿科杂志*, 2022, 60(6): 9.
- [8] ZHANG H, TONG TK, KONG Z, et al. Exercise training-induced visceral fat loss in obese women: The role of training intensity and modality[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2021, 31(1): 30-43.
- [9] WANG Y, NIE J, FERRARI G, et al. Association of physical activity intensity with mortality: A national cohort study of 403681 US Adults[J]. *JAMA Intern Med*, 2021, 181(2): 203-211.
- [10] 曹蕊, 唐玉成, 李抒, 等. 高强度间歇训练对肥胖儿童身体成分、心肺适能和血液指标的影响[J]. 中

- 国运动医学杂志, 2022, 41(2): 109-117.
- [11] VERHEGGEN R, MAESSEN M, GREEN D J, et al. A systematic review and meta-analysis on the effects of exercise training versus hypocaloric diet: distinct effects on body weight and visceral adipose tissue[J]. *Obesity Rev*, 2016, 17(8): 664-690.
- [12] 梁晋裕, 郝亮. 高强度间歇运动对肥胖儿童身体成分血压及血清 Chemerin 的影响[J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(11): 1729-1732.
- [13] DIAS K A, INGUL C B, TJØNNA A E, et al. Effect of high-intensity interval training on fitness, fat mass and cardiometabolic biomarkers in children with obesity: A randomised controlled trial[J]. *Sports Med*, 2017, 48(3): 733-746.
- [14] BATACAN R B, DUNCAN M J, DALBO V J, et al. Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies[J]. *Br J Sports Med*, 2017, 51(6): 494-503.
- [15] 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查: WS/T 586—2018[S]. 北京: 中华人民共和国卫生行业标准, 2018.
- [16] MAYORGA-VEGA D, AGUILAR-SOTO P, VICIANA J. Criterion-related validity of the 20-M shuttle run test for estimating cardiorespiratory fitness: A meta-analysis[J]. *J Sports Sci Med*, 2015, 14(3): 536-547.
- [17] BUCHAN D S, OLLIS S, THOMAS N E, et al. The influence of a high intensity physical activity intervention on a selection of health related outcomes: an ecological approach[J]. *BMC Public Health*, 2010, 10(1): 8.
- [18] MAHAR M T, GUERIERI A M, HANNA M S, et al. Estimation of aerobic fitness from 20-m multistage shuttle run test performance[J]. *Am J Prev Med*, 2011, 41(4 Suppl 2): S117-123.
- [19] BAQUET G, GAMELIN F X, MUCCI P, et al. Continuous vs. interval aerobic training in 8 to 11-year-old children[J]. *J Strength Cond Res*, 2010, 24(5): 1381-1388.
- [20] MAILLARD F, VAZEILLE E, SAUVANET P, et al. High intensity interval training promotes total and visceral fat mass loss in obese Zucker rats without modulating gut microbiota[J]. *PLoS One*, 2019, 14(4): e0214660.
- [21] CVETKOVIC N, STOJANOVIC E, STOJILJKOVIC N, et al. Exercise training in overweight and obese children: Recreational football and high-intensity interval training provide similar benefits to physical fitness[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2018, 28 Suppl 1: 18-32.
- [22] 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]. *J Endocrinol Invest*, 2016, 40(2): 217.
- [23] 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.
- [24] SAWADA S S, LEE I, NAITO H, et al. Cardiorespiratory fitness, body mass index, and cancer mortality: A cohort study of Japanese men[J]. *BMC Public Health*, 14,1(2014-09-27), 2014, 14(1): 1012.
- [25] ASTORINO TA, EDMUNDS RM, CLARK A, et al. High-intensity interval training increases cardiac output and VO<sub>2</sub>max[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2017, 49(2): 265-273.
- [26] 刘瑞东, 曹春梅, 刘建秀. 高强度间歇训练的应用及其适应机制[J]. *体育科学*, 2017, 37(7): 73-82.
- [27] THIVEL D, MASURIER J, BAQUET G, et al. High-intensity interval training in overweight and obese children and adolescents: systematic review and meta-analysis[J]. *J Sports Med Phys Fitness*, 2019, 59(2): 310-324.
- [28] CHUENSIRI N, SUKSOM D, TANAKA H. Effects of high-intensity intermittent training on vascular function in obese preadolescent boys[J]. *Child Obes*, 2017, 14(1): 41-49.
- [29] TREMBLAY M S, CARSON V, CHAPUT J P. Introduction to the Canadian 24-Hour Movement Guidelines for Children and Youth: An integration of physical activity, sedentary behaviour, and sleep[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2016, 41(6 Suppl 3): iii-iv.