

doi: 10.16104/j.issn.1673-1891.2022.03.016

高强度间歇训练(HIIT)对初中生身体成分影响的Meta分析

王亚¹, 韩勇², 程美超¹, 王舜^{1*}

(1. 淮北师范大学体育学院, 安徽 淮北 235000; 2. 西昌学院体育学院, 四川 西昌 615013)

摘要: [目的] 通过Meta分析评价高强度间歇训练(HIIT)对初中生身体成分的影响, 为后续HIIT在改善身体成分方面提供理论依据。[方法] 利用Web of Science、PubMed、EBSCO、中国知网(CNKI)4个中英文数据库进行文献检索, 收集有关初中生身体成分的随机对照试验(RCT), 参考Cochrane风险对研究文献进行风险质量评价, 同时借助Review Manage 5.4.1和Stata 14.0软件进行异质性检验、敏感性分析和发表偏倚分析。[结果] 共纳入16个RCT。Meta分析结果显示: HIIT能显著减轻初中生体质量(MD = -1.18, 95%CI: -1.39 ~ -0.98, $P < 0.01$); 改善身体质量指数(BMI)(MD = -0.65, 95%CI: -0.79 ~ -0.51, $P < 0.01$); 降低体脂率(MD = -0.46, 95%CI: -0.59 ~ -0.34, $P < 0.01$)、腰围(MD = -1.08, 95%CI: -1.24 ~ -0.92, $P < 0.01$)。在体质量方面, 男生改善效果大于女生; 在BMI和腰围方面, 男女生改善效果差异不大; 在体脂率方面, 女生改善效果大于男生。[结论] 高强度间歇训练对初中生身体成分具有良好的改善效果, 可明显降低初中生的体质量, 改善初中生的BMI指数, 降低初中生的腰围及体脂率。

关键词: 高强度间歇训练; 初中生; 身体成分; Meta分析

中图分类号: G804.49; G633.96 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-1891(2022)03-0085-08

Meta-Analysis of the Effects of High-Intensity Interval Training (HIIT) on Body Composition in Junior High School Students

WANG Ya¹, HAN Yong², CHENG Meichao¹, WANG Shun^{1*}

(1. School of Physical Education, Huaibei Normal University, Huaibei, Anhui 235000, China; 2. School of Physical Education, Xichang University, Xichang, Sichuan, 615013, China)

Abstract: [Objective] The evaluation of high-intensity intermittent training (HIIT) on body composition by Meta-analysis provides a theoretical basis for subsequent HIIT in improving body composition of junior high school students. [Method] Web of Science, PubMed, EBSCO and China national knowledge internet (CNKI) were used to collect RCTs on body composition of junior high school students, the risk quality of these research documents were evaluated by Cochrane risk, and heterogeneity test, sensitivity analysis and publication bias analysis were conducted with the help of Review Manage 5.4.1 and Stata 14.0 software. [Result] A total of 16 RCTs were included. Meta-analysis showed that HIIT could significantly reduce the weight of junior high school students (MD = -1.18, 95%CI: -1.39 ~ -0.98, $P < 0.01$); improve body mass index (BMI) (MD = -0.65, 95%CI: -0.79 ~ -0.51, $P < 0.01$); reduce body fat rate (MD = -0.46, 95%CI: -0.59 ~ -0.34, $P < 0.01$), waist circumference (MD = -1.08, 95%CI: -1.24 ~ -0.92, $P < 0.01$). In terms of weight, boys improved more effectively than girls; in terms of BMI and waist circumference, there was little difference between boys and girls; in terms of body fat rate, girls improved more effectively than boys. [Conclusion] High-intensity interval training has a good effect on improving the body composition of junior high school students, which can significantly reduce their body weight, improve their BMI, and reduce their waist circumference and body fat rate.

Keywords: high intensity interval training; junior high students; body composition; Meta-analysis

收稿日期: 2022-04-06

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(19YJC890045); 安徽省教育厅科学研究项目(YJS20210469)。

作者简介: 王亚(1998—), 女(羌族), 四川阿坝人, 硕士研究生, 研究方向: 青少年体质健康。*通信作者: 王舜(1981—), 男, 江苏徐州人, 副教授, 博士, 研究方向: 青少年体质健康。

0 引言

青少年体质健康对个人健康成长、家庭和谐幸福、国家未来发展、民族振兴、社会可持续发展等有着重大意义,是我国建设体育大国、体育强国面临的重大问题。第八次全国学生体质与健康调研结果发布显示,学生体质健康达标率为 23.8%,2014—2019 年,初中生的体质健康达标优良率上升 5.1 个百分点,总体来看增长幅度较大^[1]。初中生肥胖人数持续增多^[2],肥胖人数从 615 万人增加到 3 496 万人^[3]。有研究表明,高强度运动对促进健康更有效^[4],高强度的间歇锻炼与体质量、腰围等始终高度相关,与中等强度持续训练(moderate-intensity continuous training, MICT)相比,高强度间歇训练(high-intensity interval training, HIIT)更有效改变人体的身体成分^[5-6],降低体脂率^[7],提高有氧代谢能力^[8],促进身体快速新陈代谢^[9-10]。

高强度间歇训练(HIIT)具有练习时间短、运动强度大、间歇时间短等特点,已被广泛应用到各运动项目及团队中,但目前关于 HIIT 对初中生身体成分方面的研究较少,我国的干预方案更少,鲜有人求证 HIIT 对初中生身体成分的影响作用。关于 HIIT 对身体成分是否是一种有效的干预运动方案值得深入研究。赵军等^[11]从体质量、身体质量指数(BMI)、体脂率、躯干脂肪量、肌肉质量等分析身体成分;肖涛等^[12]从身高、体质量、BMI、体脂率、腰围等分析身体成分;徐磊等^[13]从体质量、BMI、腰围、体脂率、臀围等分析身体成分。基于此,本文借用循证医学研究,利用 Meta 分析 HIIT 对初中生身体成分的影响,对初中生身体成分概括为体质量、BMI、腰围、体脂率 4 个维度,为我国在 HIIT 对青少年体质健康促进方面提供循证医学理论依据。

1 研究方法

1.1 检索策略

在 Web of Science、PubMed、EBSCO、中国知网(CNKI)4 个中英文数据库进行文献检索,检索日期为 2000 年 1 月—2022 年 4 月。以"high-intensity interval training" OR "high intensity training" OR "HIIT" AND "teenagers" OR "youngsters" OR "Junior middle school student" OR "hobbledehoy" AND "body composition"为英文检索关键词,以“高强度间歇训练”OR“高强度训练”OR“间歇训练”OR“HIIT”AND“青少年”OR“初中生”AND“体质健

康”OR“身体成分”为中文检索关键词,进行相关文献检索。

1.2 文献纳入与排除标准

纳入标准为:(1)研究类型为 HIIT 训练干预,试验对象是初中生(年龄:12~16 岁),研究设计为随机对照试验组;(2)干预时间 ≥ 2 周的 HIIT;(3)受试对象需经过监护人同意,并签署知情同意书;(4)受试者无影响试验研究的疾病,均属于正常人;(5)结局指标与初中生身体成分有关。

排除标准为:(1)试验对象患有疾病,不利于进行 HIIT 干预试验;(2)文献类型为会议摘要、综述文章、重复文本、与主题不符合;(3)试验数据统计不完整,统计结果有误差,试验组与对照组参考基线差异过大;(4)测试结果不显著、质量评价不达标及无法获得全文文献。

1.3 数据提取

由课题组 2 名人员阅读文献题目及摘要,筛选出符合研究纳入标准的文献,若中途产生分歧,则由第 3 名人员一起讨论分析,决定该文献是否纳入。文献提取信息包括:文献作者、发表年份、受试者性别、受试者年龄、样本量、HIIT 运动项目、HIIT 运动干预方案、对照组干预方案、运动频次、运动周期以及最终结局指标。

1.4 纳入文献质量评价

参考 Cochrane 风险评估工具对纳入文献进行质量评价,主要从选择性偏倚(随机序列产生、分配隐藏)、实施偏倚、监测偏倚、随访偏倚、报告偏倚、其他偏倚 6 个方面进行评价,对 6 个评价指标的 7 个评价条目进行等级划分,分为低偏倚风险(7~6 分)、中偏倚风险(5~4 分)和高偏倚风险(3~1 分)3 个等级,并逐一对纳入文献进行质量监测评分^[14]。

1.5 统计学分析

借助 Review Manage 5.4.1 和 Stata 14.0 软件进行 Meta 分析。用 Review Manage 5.4.1 绘制纳入文献质量评估图,用 Stata 14.0 绘制森林图和漏斗图、进行异质性检验。研究纳入指标皆为连续性变量,对提取的数据进行 Meta 分析,使用标准均数差(standardized mean differences, SMD)与加权均数差(weight mean difference, WMD)表示,计算结局指标的 95% 可信区间(confidence interval, CI)。通过 P 值和 I^2 进行异质性检验, I^2 取值为 0~100%,当 $I^2 < 50\%$ 时,表示低异质性,采用固定效应模型;当 $I^2 \geq 50\%$ 时,表示中异质性,采用随机效应模型;当 $I^2 > 75\%$ 时,表示高异质性,应对其进行亚组分析探讨

产生原因^[15]。

2 结果与分析

2.1 文献检索结果

通过在Web of Science、PubMed、EBSCO、CNKI这4个中英文数据库进行主题检索,共检索到1 571篇文章,将文献录入到EndNote中去重,得到1 348篇文章,最后通过阅读文献标题、摘要、关键词等获得460篇,最后通过阅读全文,排除不相关文献、无法获取数据文献、数据纳入不完整文献,最后得到16篇文章纳入定量分析。文献筛选流程如图1所示。

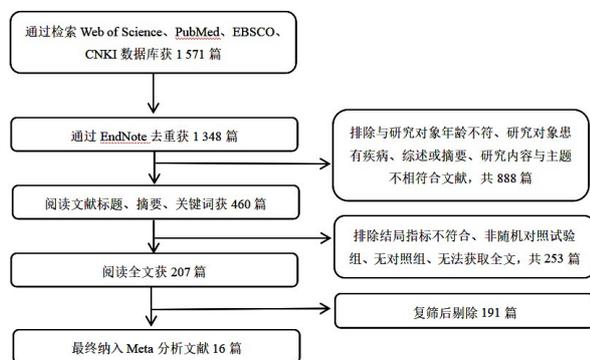


图1 文献筛选流程

2.2 纳入文献基本特征及质量评估

对纳入的16篇文章进行统计分析,16篇文章样本总量为644,纳入文献基本特征如表1所示。对16篇文章进行质量评价,最后进行偏倚风险评估,风险质量占比如图2所示。在选择性偏倚中,有13篇文章描述了随机分配方法,1篇不确定,2篇分配方案隐藏;有12篇达到低偏倚风险,4篇达到中偏倚风险,说明纳入文献整体质量评价偏倚较低,符合研究标准。

2.3 Meta分析结果

森林图是以统计效应图和分析计算方法为基础,通过数据的转换运算绘制图形,是Meta分析中最常见的表达方式,能够全面直观地表达出研究内容。森林图中的竖线表示无效数据,没有统计学意义,森林图可信区间的95%CI为上下线连线,较直观地表现出可信区间上下线的范围。

2.3.1 数据整体合并结果及发表偏倚分析

对16篇文章进行合并效应检验,其中试验组314人,对照组330人,异质性检验结果(图3)显示: $\chi^2 = 2.95$, $\nu = 15$ ($P = 1.00$), $I^2 = 0\%$, 表现为低异质性;总效应OR = 0.56, 95%CI(0.34, 0.92), 总发生效

应值 $Z = 2.28$, $P = 0.02$, $P < 0.10$, 代表试验组和对照组数据之间差异有统计学意义,表明进行HIIT总体上能改变初中生的身体成分(体质量、BMI、腰围、体脂率)。

HIIT对初中生身体成分的影响,用Egger's检验文献的发表偏倚,纳入各项文本研究的基点大致呈漏斗状排列,均分布在基线两侧,通过Egger's检验可知: $Z = 2.28$, $P = 0.02$, 显示所选纳入文献均无发表偏倚(图4)。

2.3.2 HIIT对初中生体质量的影响

HIIT对初中生体质量的影响共纳入15项研究(男生6项、女生9项),考虑到初中生的生长发育特点,将指标分为男女2个组进行Meta分析。图5显示:被纳入的15项研究结果间总体无异质性($I^2 = 0\%$, $P = 0.58$), 故采用固定效应模型;合并效应值MD = -1.18, 95%CI(-1.39, -0.98), $P < 0.01$, 表明HIIT能有效降低初中生体质量。

2.3.3 HIIT对初中生BMI的影响

HIIT对初中生BMI的影响共纳入17项研究(男生7项、女生10项)。图6显示:被纳入的16项结果间具有中度异质性($I^2 = 48\%$, $P = 0.01$), 故采用随机效应模型;合并效应值MD = -0.65, 95%CI(-0.79, -0.51), $P < 0.01$, 表明HIIT能有效降低初中生的BMI。

2.3.4 HIIT对初中生腰围的影响

HIIT对初中生腰围的影响共纳入9项研究(男生5项、女生4项)。图7显示:被纳入的9项研究结果间不具有异质性($I^2 = 0\%$, $P = 0.63$), 故采用随机效应模型;合并效应值MD = -1.08, 95%CI(-1.24, -0.92), $P < 0.01$, 表明HIIT能有效减少初中生腰围。

2.3.5 HIIT对初中生体脂率的影响

HIIT对初中生体脂率的影响共纳入11项研究(男生5项、女生6项)。图8显示:被纳入的11项研究结果间无异质性($I^2 = 0\%$, $P = 0.72$), 故采用随机效应模型;合并效应值MD = -0.46, 95%CI(-0.59, -0.34), $P < 0.01$, 表明HIIT可有效降低初中生体脂率。

3 讨论

初中生的学业压力持续增长,长期久坐不运动导致学生肥胖,危及自身健康,与其在成长过程中的长期肥胖及慢性疾病有着密切关系^[32]。大量研究证明,进行体育锻炼可以促进身体健康^[33-34]。二

表 1 纳入文献基本特征

第一作者及年份	受试者性别	年级	样本量 (试验组/ 对照组)	运动项目	HIIT 方案	频率/ (次· 周 ⁻¹)	周期/ 周	对照组	结局 指标
Borja 2018 ^[16]	女	初一	20/20	跑步	1 min HIIT, 在 90% 心率峰值下循环, 然后进行 1 min 的间歇振动, 频率从 18 Hz 增加到 25 Hz, 峰值位移为 4 mm	3	8	日常活动	A、 C
Meng 2022 ^[17]	男	初一	15/15	跑步	高强度(90%~100%最大有氧速度(MAS))2×8次 15 s 跑步, 低强度(50%MAS)下 8次 15 s 恢复跑	3	12	正常活动	B、D
Kathryn 2016 ^[18]	男	初三	41/60	跑步	20 m 多阶段健身测试、12 反跳、跳跃高度、20 m 完成 30 s 的最大冲刺	3	10	MICT	D、 C
Kongi 2016 ^[19]	女	初三	13/13	跑步	间歇运动(10 s)、20 m 往返跑	3	8	MICT	A、B
Hu 2021 ^[20]	女	初二	17/16	跑步	90%VO ₂ 峰值下循环 4 min, 然后恢复 3 min, 持续约 60 min	3	12	MICT	A、B
Kim 2015 ^[21]	男、女	初一	12/12	跑步	15 s 间歇跑步、15 s 间歇恢复	3	6	正常活动	A、B
Sabine 2016 ^[22]	男	初三	14/14	跑步	20 s 快速跑、10 s 主动恢复, 60 s 短跑、75 s 恢复	2	24	正常活动	A、D
Tatiana 2020 ^[23]	男、女	初三	11/9	跑步	3×6次间歇跑(RM), 休息 20 s, 重复 3 次, 2组之间休息 2 min 30 s	3	8	传统训练	B
Yining 2021 ^[24]	女	初三	10/10	跑步	30 s 最大往返跑	3	12	MICT	B、 C
余萍 2021 ^[25]	男、女	初二	33/33	跑步	20×20 m, 运动 30 s, 间歇 30 s	3	12	传统体育课	D、 C
李嘉稼 2021 ^[26]	男、女	初二	20/20	跑步	100 m 快跑(直道快速跑, 80%~90% VO _{2max})、100 m 慢跑(弯道慢速跑, 采用 35%~45% VO _{2max})	3	11	MICT	A、B、 D、 C
杨忠武 2019 ^[27]	男、女	初一	20/20	跑步	原地快频率小步跑、收腹跳、10 m 加速折返跑、开合跳、30 m 快频率小步跑、波比跳	2	8	MICT	A、B、 D
王京京 2015 ^[28]	女	初三	12/12	跑步	跑台训练, 85%~95% 最大心率 (HR _{peak} , 达到 VO _{2max} 时的心率) 运动 4 min 后接 50%~60%HR _{peak} 运动 3 min, 然后安静休息 7 min 作为间歇, 重复 4 组	4	12	MICT	A、B、 D
董瑞皎 2020 ^[29]	男、女	中学	16/16	跑步	核心类、蹲跳类、跑跳类	2	8	传统训练	A、B、 C
陈楠 2021 ^[30]	男、女	初二	40/40	跑步	4×4 min 间歇跑	3	12	正常活动	C
鞠星 2020 ^[31]	男、女	初二、 初三	20/20	综合类	原地高抬腿、开合跳、跪地俯卧撑、卷腹、深蹲跳、平板撑、仰卧蹬车、原地弓步跳、登山跑、直立体前屈	3	8	MICT	A、B

注:A 表示体质量;B 表示 BMI;C 表示体脂率;D 表示腰围。



图2 研究文献方法质量评估占比

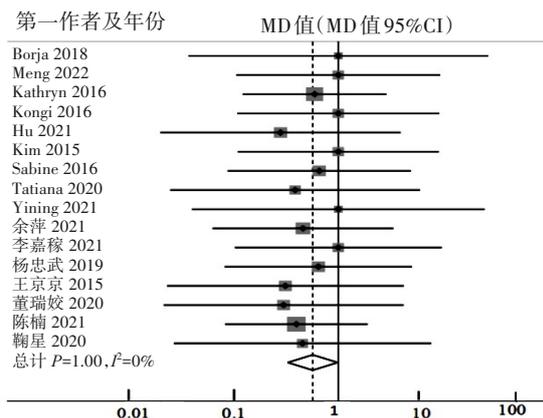


图3 HIIT对初中生身体成分影响的森林图

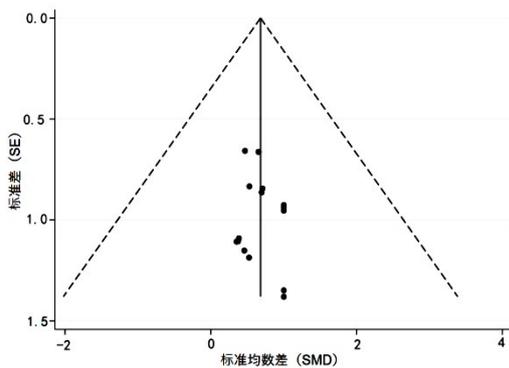


图4 HIIT对初中生身体成分影响的发表偏倚漏斗图

者存在必然的剂量与效果关系,其中运动强度—运动时间—频率组合产生的剂量是引起身体成分发生变化的关键因素。HIIT具有短时间、高强度、间歇时间短的特点,在改变身体成分方面已经凸显优势,更能提高学生锻炼的坚持性和愉悦感,容易被学生接受^[35],可有效降低初中生的身体成分(主要包括体质量、BMI、腰围、体脂率),此结论与Pozuelo-Carrascosa^[36](2020)的研究结果相似。存在机制包括:(1)HIIT运动后,感到疲惫,食欲下降,减少了能量的摄入^[37];(2)HIIT促进运动过程中的过量氧耗,增加最大摄氧量,增加能量消耗^[38];(3)HIIT结合了力量、速度、灵敏等多项身体素质的综合发展,经过几个周期训练之后,增加肌肉含量,从而降低体脂率^[39]。

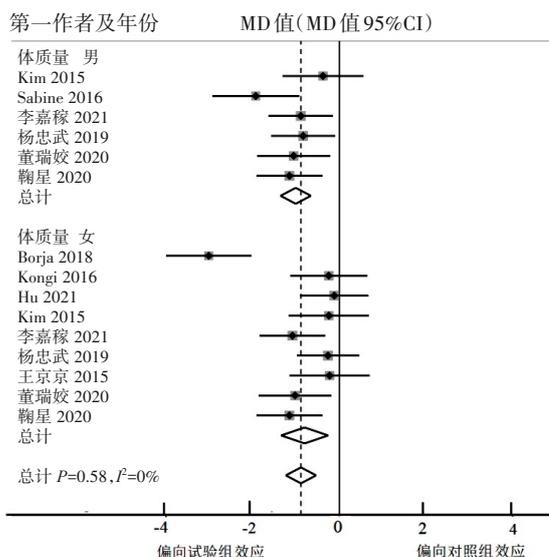


图5 HIIT对初中生体质量影响的森林图

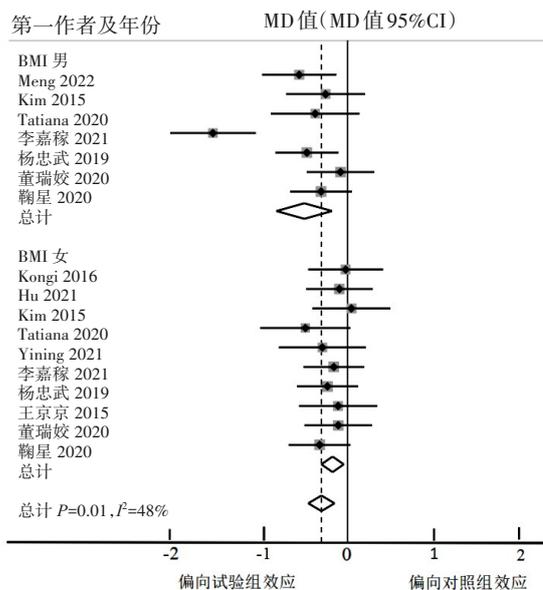


图6 HIIT对初中生BMI影响的森林图

3.1 HIIT对初中生体质量的作用

在纳入的有关初中生体质量的15项研究中,HIIT有效减轻了男生体质量(MD = -1.72, 95%CI: -2.23 ~ -1.20, $P < 0.01$),女生体质量(MD = -1.08, 95%CI: -1.30 ~ -0.86, $P < 0.01$),男女生体质量降低程度差异较大,男生组效果较好。已有研究结果证明,HIIT可增加全身性脑源性神经营养因子^[40],进而改变身体内胰岛素抵抗与瘦素抵抗的运行状态^[41],达到减轻体质量的作用,同时通过间歇训练可以增加身体肌肉含量与质量,提高新陈代谢能力,更有助于减轻体质量,此结论与本文研究结果相贴切。

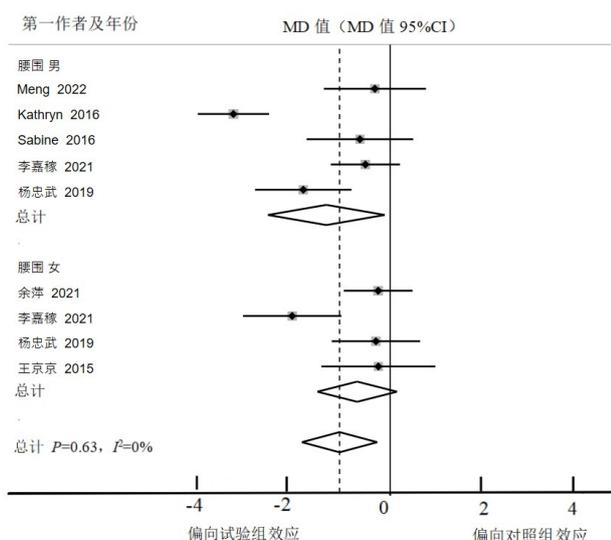


图 7 HIIT对初中生腰围影响的森林图

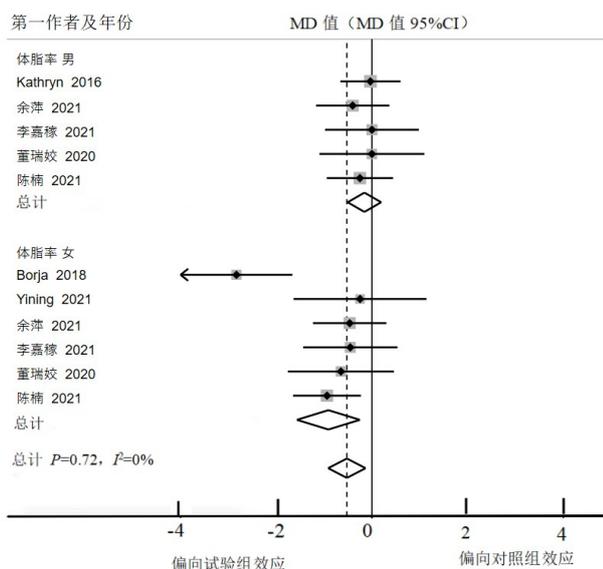


图 8 HIIT对初中生体脂率影响的森林图

3.2 HIIT对初中生BMI的作用

在纳入有关初中生BMI的17项研究中,HIIT减少了男生BMI(MD = -0.94, 95%CI: -1.13 ~ -0.76, $P < 0.01$),女生BMI(MD = -0.29, 95%CI: -0.50 ~ -0.07, $P < 0.01$);试验组与对照组相比,男生的BMI降低14.2%,女生降低11.9%,男女生BMI改善程度差异不大。有研究表明,HIIT能显著提升初中生的胰岛素敏感性^[42],进行大强度运动之后,大脑对高热量食物产生抑制反应,试验对象的胰岛素敏感性增加,能量摄入少,从而控制BMI,此研究结果从生

理学机制解释了HIIT减轻BMI的理论依据。

3.3 HIIT对初中生腰围的作用

在纳入的有关初中生腰围的9项研究中,HIIT减少了男生腰围(MD = -1.06, 95%CI: -1.23 ~ -0.90, $P < 0.01$),女生腰围(MD = -1.34, 95%CI: -1.94 ~ -0.74, $P < 0.01$),男女生BMI腰围降低程度差异不大。有研究显示,HIIT可加快身体糖和蛋白质的分解,避免体内糖和蛋白质转换为脂肪^[43],从而增加肌纤维,减少腹部大量脂肪堆积,起到减少腰围的作用。因此,适当地进行HIIT有助于减少腰围。

3.4 HIIT对初中生体脂率的作用

在纳入的有关初中生体脂率的11项研究中,HIIT降低男生体脂率(MD = -0.47, 95%CI: -0.71 ~ -0.22, $P < 0.01$),女生体脂率(MD = -0.46, 95%CI: -0.60 ~ -0.32, $P < 0.01$),男女生体脂率降低程度差异较大,女生组效果较好。有研究表明,HIIT干预措施能有效减轻初中生体内的脂肪酸合成,从而增加其分解速度,造成体脂下降,通过HIIT而引起的赖氨酸、精氨酸等代谢产物的改变参加脂肪酸的分解代谢过程^[44],达到减脂的作用。

研究还存在一定局限性,主要表现在:(1)研究只纳入公开发表的中英文文献,缺少未公开文献,文献全面性稍有不足;(2)纳入文献中只有部分文章采取评选盲法;(3)纳入文献大多为中文和英文文献,缺乏其他国家的重大研究成果,可能存在文化差异偏倚;(4)纳入16篇文献中,样本量都较小,最多的试验组和对照组分别为40人,可能存在结局指标的不全面性;(5)部分文献的随机对照试验组的结局指标为人工测试,存在一定误差,可能导致潜在结果偏倚。

4 结语

纳入的16篇文献具有较大同一性。Meta分析结果显示:(1)HIIT能显著减轻初中生体质量,改善身体质量指数(BMI),降低体脂率、腰围。(2)男女生体质量改善程度差异较大,男生组效果较好;男女生BMI和腰围改善程度差异不大;男女生体脂率改善程度差异较大,女生组效果较好。因此,初中生应根据自身实际情况有选择性地进行的HIIT,从而改善体内身体成分,最终达到促进健康,防止肥胖的积极作用。

参考文献:

[1] 教育部体育卫生与艺术教育司.第八次全国学生体质与健康调研结果发布[J].中国学校卫生,2021,42(9):2.
 [2] CAI Y, ZHU X, WU X. Overweight, obesity, and screen-time viewing among Chinese school-aged children: national

- prevalence estimates from the 2016 Physical Activity and Fitness in China-The Youth Study[J]. *Journal of Sport & Health Science*, 2017(4):404-409.
- [3] 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.
- [4] WANG Y, NIE J, FERRARI G, et al. Association of physical activity intensity with mortality a national cohort study of 403 681 US adults[J]. *JAMA Internal Medicine*, 2020, 181(2):203-211.
- [5] 曹麓, 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.
- [6] 张勇, 王典, 叶卫兵. 高强度间歇运动与最大脂肪氧化强度持续运动对普通女大学生身体成分的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2018, 37(5):384-390.
- [7] WEWEGE M, WARD. 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]. *Obesity Reviews*, 2017, 18(6):635-646.
- [8] SLENTZ C A, DUSCHA B D, JOHNSON J L, et al. Effects of the amount of exercise on body weight, body composition, and measures of central obesity: strrlde - a randomized controlled study[J]. *Archives of Internal Medicine*, 2004, 164(1):31-39.
- [9] HEALTH H, SERVICES, ICF F, et al. High-Intensity interval training for cardiometabolic disease prevention[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2019, 51(6):1220-1226.
- [10] GHAZI, RACIL, JEREMY, et al. Greater effects of high- compared with moderate-intensity interval training on cardio-metabolic variables, blood leptin concentration and ratings of perceived exertion in obese adolescent females[J]. *Biology of Sport*, 2016, 33(2):145-52.
- [11] 赵军, 梁晋裕, 郝亮. 中高强度运动对肥胖女大学生身体成分及心血管功能指标的影响[J]. *中国学校卫生*, 2020, 41(5):751-754.
- [12] 肖涛, 甄浩, 王晨宇. 循环训练对肥胖女大学生身体成分体适能和代谢综合征危险因素的影响[J]. *中国学校卫生*, 2020, 41(2):224-227.
- [13] 徐磊, 李春艳, 毛彩凤, 等. 运动结合饮食干预对肥胖青少年血清脂肪酸组分和身体成分的影响及其相关性研究[J]. *武汉体育学院学报*, 2018, 52(9):86-92.
- [14] STERNE J A, HERNAN M A, REEVES B C, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions[J]. *The BMJ*, 2016, 355:i4919.
- [15] 张天嵩. 高级Meta分析方法: 基于Stata实现[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2015:58-70.
- [16] BORJA S, TAMARA M, DAVISON G W, et al. High-intensity interval training combined with vibration and dietary restriction improves body composition and blood lipids in obese adults: a randomized trial[J]. *Dose-Response*, 2018, 16(3):155932581879701.
- [17] MENG C, YUCHENG T, SHU L, et al. Effects of school-based high-intensity interval training on body composition, cardiorespiratory fitness and cardiometabolic markers in adolescent boys with obesity: a randomized controlled trial[J]. *BMC Pediatrics*, 2022, 2(1):1-11.
- [18] KATHRYN L, AZEVEDO L B, BOCK S, et al. Effect of novel, school-based high-intensity interval training (hit) on cardiometabolic health in adolescents: project FFAB (fun fast activity blasts) - an exploratory controlled before-and-after trial[J]. *PLoS One*, 2016, 11(8):0159116.
- [19] KONGI, MARTINS C, KAZAKOVA I, et al. High-intensity interval training and isocaloric moderate-intensity continuous training result in similar improvements in body composition and fitness in obese individuals[J]. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 2016, 26(3):197-204.
- [20] HU M, KONG Z, SUN S, et al. Interval training causes the same exercise enjoyment as moderate-intensity training to improve cardiorespiratory fitness and body composition in young Chinese women with elevated BMI[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2021, 39(15):1677-1686.
- [21] KIM H S, PATCICK W C, NGO J K, et al. Effects of high-intensity intermittent running exercise in overweight children[J]. *European Journal of Sport Science* *Ejss Official Journal of the European College of Sport Science*, 2015, 41(3):3-19.
- [22] SABINE H, REICHARDT, SANDA, et al. High-intensity interval training for overweight adolescents: program acceptance of a media supported intervention and changes in body composition[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2016, 13:1099.
- [23] TATIANA M, GIUSEPPE M, ANTONINO B, et al. Effects of 6 weeks of traditional resistance training or high intensity in-

- terval resistance training on body composition, aerobic power and strength in healthy young subjects: a randomized parallel trial[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17: 114093.
- [24] YINING L, HUW D W, JULIEN S B, et al. The effects of running compared with functional high-intensity interval training on body composition and aerobic fitness in female university students[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18: 2111312.
- [25] 余萍. 12周高强度间歇训练对青少年健康体适能的影响研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2021.
- [26] 李嘉稼. HIIT与MICT训练强度对改善肥胖初中生体质健康影响的研究[D]. 喀什: 喀什大学, 2021.
- [27] 杨忠武. 高强度间歇训练和持续训练对促进青少年体质健康水平影响的实验研究[D]. 北京: 首都体育学院, 2019.
- [28] 王京京, 韩涵, 张海峰. 高强度间歇训练对青年肥胖女性腹部脂肪含量的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(1): 15-20+30.
- [29] 董瑞姣. 高强度间歇训练对初中生体质健康影响的实验研究[D]. 济南: 山东师范大学, 2020.
- [30] 陈楠. 12周HIIT训练对大学生身体成分及有氧运动能力的影响[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2021.
- [31] 鞠星. 高强度间歇训练对13~16岁青少年身体素质影响的实证研究[D]. 曲阜: 曲阜师范大学, 2020.
- [32] HALES C M, FRYAR C D, CARROLL M D, et al. Trends in obesity and severe obesity prevalence in us youth and adults by sex and age, 2007-2008 to 2015-2016[J]. *JAMA*, 2018, 319(16): 1723-1725.
- [33] 罗超, 李晗冉, 田东华, 等. 体医融合模式下HIIT干预NAFLD的运动方法与效果评价[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2020, 56(1): 132-140.
- [34] 姜卫芬, 金宗强, 刘文烁, 等. 高强度间歇训练促进青年体质健康的研究进展[J]. *中国学校卫生*, 2020, 41(11): 1745-1749.
- [35] BARTLETT J D, CLOSE G L, MACLAREN D P M, et al. High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence[J]. *J Sports*, 2011, 29(6): 547-553.
- [36] MONTSERRAT S M, ANA D F, ALBERTO G G, et al. The effectiveness of high-intensity interval training on body composition, cardiorespiratory fitness, and cardiovascular risk factors in children: A protocol for a systematic review[J]. *Medicine*, 2020, 99(8): e19233.
- [37] BOUTCHER, STEPHEN H. High-Intensity intermittent exercise and fat loss[J]. *Journal of Obesity*, 2011(4): 868305.
- [38] BILLY S, BIRGIT W S, CHRISTOPH Z, et al. Functional high-intensity circuit training improves body composition, peak oxygen uptake, strength, and alters certain dimensions of quality of life in overweight women[J]. *Frontiers in Physiology*, 2017, 8: 172.
- [39] BAQUET G, BERTHOIN S, GERBEAUX M, et al. High-intensity aerobic training during a 10 week one-hour physical education cycle: effects on physical fitness of adolescents aged 11 to 16[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2001, 22(4): 295-300.
- [40] IVAN R, PATRICIA C, GARCIA S, et al. Short-term high-Intensity interval training increases systemic brain-derived neurotrophic factor (BDNF) in healthy women[J]. *European Journal of Sport Science*, 2019(6): 1-9.
- [41] 童国元, 叶礼燕, 陈新民, 等. 单纯性肥胖儿童血清脑源性神经营养因子表达的变化及意义[J]. *中国实用儿科杂志*, 2006(3): 197-200.
- [42] METCALFE R S, BABRAJ J A, FAWKNER S G, et al. Towards the minimal amount of exercise for improving metabolic health: beneficial effects of reduced-exertion high-intensity interval training[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2012, 112(7): 2767-2775.
- [43] 王瑞元. 运动生理学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2002.
- [44] 苏利强, 陈海春, 温岱宗, 等. 生命科学新技术在体育科学领域的应用——以UPLC-QTOF在HIIT减脂研究中的应用为例[J]. *上海体育学院学报*, 2020, 44(10): 34-47.