·健康与社会行为·

运动促进肥胖儿童青少年健康——对胰岛素抵抗改善效果的 Meta 分析

赵飞[1],贾燕[2],王福粮[3],崔运坤[3],张海容[3],
1.淄博高新技术产业开发区教育和体育事业中心教学研究室,山东 淄博 255000;
2.山东第一医科大学(山东省医学科学院)通识教育部,山东 泰安 271000;3.泰山学院体育学院

摘要:目的　运用 meta 分析评价运动干预对肥胖儿童青少年胰岛素抵抗的改善效果,为相关领域丰富循证依据。**方法**　通过检索中国知网、维普数据库、中国生物医学文献数据库、Wiley、Pubmed、Embase、Cochrane Library 获取相关随机对照试验,检索时限为建库至 2026 年 3 月,文献筛选、数据提取、风险评价由两位研究者独立完成。应用 Revman 5.4 和 Stata 18.0进行数据分析,合并效应量采用均值差和 95%置信区间表示。**结果**　共纳入 11 篇文献,405 名受试者。结果显示运动干预使受试者的稳态模型胰岛素抵抗指数(homeostasis model assessment of insulin resistance,HOMA-IR)(*MD*=-0.92,95%*CI*:-1.66 ~ -0.17)和甘油三酯(*MD*=-0.28,95%*CI*:-0.50 ~ -0.06)均产生显著下降(*P*<0.05)。亚组分析显示,运动干预使身体质量指数(body mass index,BMI)≤28 kg/m² 的受试者 HOMA-IR 产生下降(*MD*=-0.14,95%*CI*:-0.91 ~ 0.63),甘油三酯产生下降(*MD*=-0.15,95%*CI*:-0.38 ~ 0.09),差异均不显著(*P*>0.05);使 BMI>28 kg/m² 的受试者 HOMA-IR 产生下降(*MD*=-1.24,95%*CI*:-2.16 ~ -0.32),甘油三酯产生下降(*MD*=-0.38,95%*CI*:-0.74 ~ -0.03),均差异显著(*P*<0.05)。有氧运动使受试者 HOMA-IR 产生下降(*MD*=-0.68,95%*CI*:-1.08 ~ -0.29),甘油三酯产生下降(*MD*=-0.38,95%*CI*:-0.68 ~ -0.08),均差异显著(*P*<0.05);混合运动使受试者 HOMA-IR 产生下降(*MD*=-1.09,95%*CI*:-4.09 ~ 1.91),甘油三酯产生下降(*MD*=-0.07,95%*CI*:-0.31 ~ 0.16),差异均不显著(*P*>0.05)。**结论**　运动干预能有效改善肥胖儿童青少年的胰岛素抵抗,在 BMI 值较高人群中干预效果更明显,有氧运动的干预效果比混合运动更明显,后续需要补充更多高质量研究以使研究结论更稳健。

关键词:青少年;运动;胰岛素抵抗;肥胖;Meta 分析
中图分类号:R179;R587　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1003-8507(2026)17-3186-08
DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202604109

Exercise promotes health in obese children and adolescents: a meta-analysis of its effects on insulin resistance

ZHAO Fei*, JIA Yan, WANG Fu-liang, CUI Yun-kun, ZHANG Hai-rong
*Teaching and Research Office, Education and Sports Development Center of Zibo High-tech Industrial Development Zone, Zibo, Shandong 255000, China

Abstract: Objective A meta-analysis was performed to evaluate the efficacy of exercise interventions in ameliorating insulin resistance in obese adolescents, so as to provide further evidence for the relevant research field. **Methods** Relevant randomized controlled trials (RCT) were retrieved from CNKI, VIP, CBM, Wiley, PubMed, Embase and the Cochrane Library, with the retrieval time frame from the establishment of each database to March, 2026. Literature screening, data extraction, and risk of bias assessment were conducted independently by two investigators. Data analysis was conducted using RevMan 5.4 and Stata 18.0, and the pooled effect sizes were expressed as mean difference (*MD*) and 95% confidence interval (*CI*). **Results** A total of 11 articles involving 405 participants were finally included in this meta-analysis. The results demonstrated that exercise interventions significantly reduced the homeostasis model assessment of insulin resistance (HOMA-IR) (*MD*=-0.92, 95% *CI*: -1.66~-0.17) and TG (*MD*=-0.28, 95% *CI*: -0.50~-0.06) levels in the participants (*P*<0.05). Subgroup analysis indicated that exercise interventions decreased HOMA-IR (*MD*=-0.14, 95% *CI*: -0.91-0.63) and TG (*MD*=-0.15, 95% *CI*: -0.38-0.09) levels in participants with a BMI ≤28 kg/m², yet the reductions were not statistically significant (*P*>0.05). In contrast, exercise interventions led to a significant decrease in both HOMA-IR (*MD*=-1.24, 95% *CI*: -2.16~-0.32) and TG (*MD*=-0.38, 95% *CI*: -0.74~-0.03) levels in participants with a BMI >28 kg/m² (*P*<0.05). Additionally, aerobic

基金项目:国家社会科学基金项目(19BTY090);山东省社会科学规划项目(21CTYJ14);山东省教育教学研究项目(2024JXY163)
作者简介:赵飞(1980—),女,硕士,高级教师,研究方向:运动促进健康、体育教学与管理
通信作者:贾燕,E-mail:jy826@163.com

exercise (AE) resulted in a significant reduction in HOMA-IR (*MD*=-0.68, 95% *CI*: -1.08~-0.29) and TG (*MD*=-0.38, 95% *CI*: -0.68~-0.08) levels in the participants (*P*<0.05), while combined exercise (CE) caused a decrease in HOMA-IR (*MD*=-1.09, 95% *CI*: -4.09-1.91) and TG (*MD*=-0.07, 95% *CI*: -0.31-0.16) levels with no statistically significant differences (*P*>0.05). **Conclusion** Exercise interventions can effectively ameliorate insulin resistance in obese adolescents, with more prominent intervention effects observed in populations with higher BMI values. The intervention effects of aerobic exercise are more marked than those of combined exercise. More high-quality studies are required in subsequent research to further validate and consolidate the conclusions of this study.

Keywords: Adolescents; Exercise; Insulin resistance; Obesity; Meta-analysis

胰岛素是一种内分泌肽激素，能结合靶细胞中的质膜受体而产生营养物质的合成代谢反应，是参与人体内多种营养物质代谢的重要激素；胰岛素抵抗（insulin resistance，IR）的综合生理机制源于靶细胞的胰岛素功能缺陷[1-2]，是一种肝脏和肌肉组织中胰岛素敏感性下降的异常状态，是代谢疾病的病理生理基础。肥胖则是儿童青少年 IR 的关键风险因素[3]，在早期，美国就有超过 50%的肥胖儿童青少年患有 IR[4]。在我国，肥胖儿童青少年的 IR 患病率可达 44.3%[5]。IR 是多种内分泌与代谢性疾病以及其他疾病的关键诱因，对儿童青少年的生长发育、生殖健康、心理健康均能产生不良影响[6-7]，并能进一步增加成年后罹患动脉粥样硬化和心肌梗塞的可能，给儿童青少年带来长期健康危害[3,8]。及时干预与治疗 IR 对未成年患者意义重大。

研究显示，运动可使儿童及年轻人的体重和身体质量指数（body mass index，BMI）产生降低[9]，世界卫生组织亦建议儿童青少年积极参与运动以促进健康[10]。有氧运动能够降低体脂、空腹胰岛素和炎症指标，并提升肥胖儿童和青少年的体能[11]，抗阻运动则能够增加儿童青少年肌肉力量并改善身体成分[12]，有氧、抗阻结合运动同样对超重 / 肥胖儿童和青少年的身体健康有积极影响[13]。此外，体力活动量增多与 IR 标志物下降之间存在确切的剂量 - 反应关系[14]。目前，诸多研究着眼于单一运动干预 IR 的效果进行开展，且研究人群的选择比较宽泛，研究结论有待补白与进一步更新。本研究采用 meta 分析的方法评价运动干预对肥胖儿童青少年 IR 的干预效果，以期为后续研究提供参考和借鉴。

1　资料与方法

1.1　文献检索　计算机检索中国知网、维普数据库、中国生物医学文献数据库、Wiley、Pubmed、Embase、Cochrane Library 中收录的文献，检索时间为建库至 2026 年 3 月，中文检索词包括运动、身体活动、运动锻炼、体育锻炼、胰岛素抵抗、未成年、青少年等，英文检索词包括“Insulin Resistance，exercise，physical exercise，physical activity，minors，adolescent，child 等”；运用布尔运算符“OR”“AND”构建检索式完成文献检索。本研究在国际系统综述前瞻性注册库 PROSPERO 注册，注册号：CRD420261331522。

1.2　文献纳入与排除标准

纳入标准：（1）研究对象：18 岁以下未患有糖尿病、精神类疾病以及未服用能够引起体成分变化或影响胰岛素代谢的药物的肥胖儿童青少年，不限性别。（2）干预方式：运动干预，无饮食干预。（3）对照方式：其他运动、空白对照、饮食干预等异于干预组的方式。（4）结局指标：参考相关研究和专家共识[15-16]，选择稳态模型胰岛素抵抗指数（homeostasis model assessment of insulin resistance，HOMA-IR）和甘油三酯为结局指标，其中 HOMA-IR 计算公式为空腹血糖数值 × 空腹胰岛素数值 /22.5。（5）研究类型：随机对照试验（randomized controlled trials，RCT）。

排除标准：（1）重复使用其他文献数据或重复发表的文献。（2）RCT 以外的其他类型研究。（3）无法获取原文的文献。（4）数据缺失的文献。（5）其他不符合纳入标准的文献。

1.3　信息提取　去除重复文献后，两名研究员根据纳入和排除标准独立进行文献筛选，意见不同时交由第三方协助判断。对最终纳入的文献进行信息提取，提取内容主要包括文献发表特征（作者、年份等）、干预对象特征（年龄、性别等）、干预方案特征、结局指标等。

1.4　文献质量评价　采用 RevMan 5.4 软件内置的偏倚风险评估工具进行偏倚风险评价。评价工作由两名研究员独立进行，意见不同时交由第三方协助判断。评价内容包括随机序列生成、分配隐藏、受试者及研究者盲法、结局评估者盲法、结局数据缺失、选择性报告、其他偏倚七项。评定结局为高风险、风险不确定或低风险。

1.5　统计学分析　结局指标中 HOMA-IR 为连续型数值，无量纲；甘油三酯为连续型数值，单位统一换算为 mmol/L，量纲相同，因此均采用均值差（mean difference，MD）为效应量。

运用 RevMan 5.4 和 Stata 18.0 进行统计学分析并完成图形绘制。运用 Q 检验法和 I^2 值进行异质性

检验，异质性未达到中度水平（I^2<25%且 P>0.1）时采用固定效应模型，异质性达到中度水平及以上（I^2≥25%或 P≤0.1）时，为使结果更保守稳健而采用随机效应模型。通过逐一剔除法进行敏感性分析。通过绘制漏斗图、Egger 检验和 Begg 检验评估纳入研究的潜在发表偏倚。

2　结　果

2.1　文献检索结果　共检索到相关文献 5 393 篇，其中知网 44 篇、维普 163 篇、CBM 148 篇、Wiley 48 篇、Pubmed 331 篇、Embase 3 592 篇、Cochrane Library 1 067 篇。去除重复文献 881 篇，阅读题目去除无关文献 4 169 篇。阅读摘要去除不符合纳入标准的文献 271 篇，阅读全文去除不符合纳入标准的文献 61 篇，最终纳入文献 11 篇。文献筛选流程见图 1。

2.2　纳入文献的基本特征　纳入分析的文献共 11 篇，包括中文 4 篇，英文 7 篇。共 405 人纳入本次分析，其中干预组 202 人，对照组 203 人。干预类型涵盖有氧运动以及有氧运动与其他运动结合的混合运动，纳入文献基本特征见表 1。

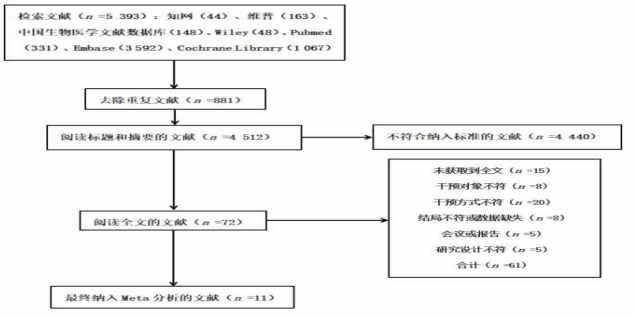


图 1　文献筛选流程图

Figure 1　Flowchart of literature screening

表 1　纳入文献基本特征

Table 1　Basic characteristics of included studies

作者及年份	样本量		干预组信息			对照方式	干预方案			结局指标
	干预组	对照组	平均年龄（岁）	BMI（kg/m²）	性别		运动类型	干预周期	干预频率	
Eun Sung Kim2007[17]	14	12	×[c]	29.6 ± 0.6	男	仅参加学校体育课	AE	6 周	5 次 / 周	d、e
O. Ben Ounis2008[18]	8	8	13.2 ± 0.1	30.2 ± 4.2	男	限制能量摄入	AE	2 个月	4 次 / 周	d、e
李博文 2010[19]	22	18	×[c]	26.0 ± 2.8	男、女	维持饮食和运动习惯	CE	10 周	3 次 / 周	d、e
Kyu Jin Lee2010[20]	11	7	×[c]	27.3 ± 1.8	女	无运动干预和饮食限制	AE	12 周	4 次 / 周	d、e
Dae Yun Seo2012[21]	10	10	14.7 ± 0.5	28.6 ± 1.2	女	饮食和运动习惯不变	AE	8 周	3 次 / 周	d、e
Fabrício Vasconcellos2015[22]	10	10	14.1 ± 1.3	31.1 ± 5.2	男、女	无运动干预	AE	12 周	3 次 / 周	d、e
Leena P. Bharath2018[23]	20	20	14.6 ± 1.0	30.0 ± 2.2	女	维持常规生活方式	CE	12 周	5 次 / 周	d
RenataG. Duft2020[24]	18	19	14.4 ± 1.0	28.3 ± 2.3	男、女	不改变体力活动与饮食	CE	12 周	3 次 / 周	d
郑凯 2020[25]	36	39	9.5 ± 1.3	28.1 ± 2.5	男、女	仅参加学校体育课	AE	24 周	3 次 / 周	d、e
曹甍 2022a[26]	17	18	×[c]	×[c]	男、女	无训练	CE	12 周	3 次 / 周	d、e
曹甍 2022b[26]	16	18	×[c]	×[c]			AE	12 周	3 次 / 周	d、e
王凯 2024[27]	20	24	14.8 ± 0.8	29.0 ± 1.1	女	无运动、饮食及药物干预	CE	12 周	5 次 / 周	d

注：年龄、BMI 保留 1 位小数使数据格式统一；[a,b] 表示同一篇文献中的不同分组；[c] 表示未找到相关信息；[d] 表示 HOMA-IR；[e] 表示甘油三酯；AE 为有氧运动；CE 为混合运动。

2.3　纳入文献的质量评价　从偏倚风险评估图可见纳入文献中的七方面偏倚风险均未出现高风险偏倚；不确定风险主要来自分配隐藏、受试者及研究者盲法、结局评估者盲法。其中三篇文献[22-23,26]明确施加分配隐藏，为低风险；一篇文献[22]明确施加结局评估者盲法，为低风险；由于运动干预的特殊性无法对受试者或研究者完全施盲，因此该领域风险均评估为不确定风险。见图 2。



图 2　纳入文献的偏倚风险评估图

Figure 2　Risk of bias assessment of included studies

2.4　Meta 分析结果　结局为 HOMA-IR 与甘油三酯时，纳入文献的异质性均达到中度水平及以上（I^2≥25%或 P≤0.1），可能来源于原始文献中研究对象身体基本特征差异、干预方案差异、方法学质量差异等，故采用随机效应模型分析，使结果更保守稳健。

如图 3 所示，结局指标为 HOMA-IR 时纳入 11 篇文献[17-27]，12 组研究数据，202 名研究对象，合并效应量 MD=-0.92（95%CI：-1.66 ~ -0.17），即运动干预使受试者 HOMA-IR 水平下降 0.92。且具有统计学显著性（P<0.05）。

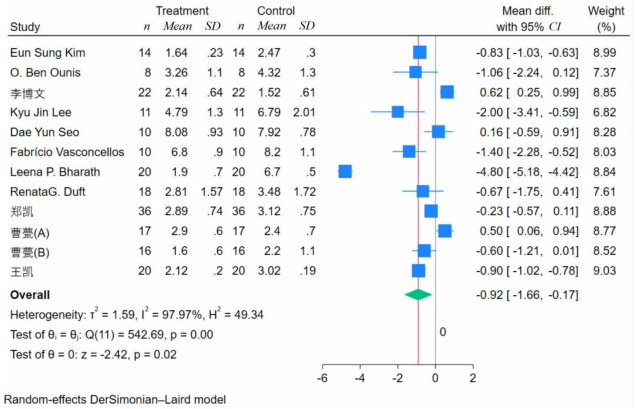


图 3　运动对肥胖儿童青少年 HOMA-IR 的干预效果

Figure 3　Intervention effect of exercise on HOMA-IR in obese adolescents

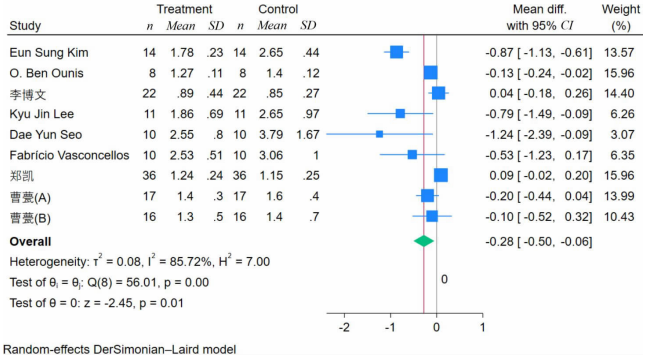


图 4　运动对肥胖儿童青少年甘油三酯的干预效果

Figure 4　Intervention effect of exercise on TG in obese adolescents

2.5　敏感性分析　通过逐一剔除法进行敏感性分析，以评估每个研究对分析结果的影响，结果显示合并效应量变化有限，效应量方向未出现改变，说明分析结果比较稳定。

2.6　发表偏移检验　结局指标为 HOMA-IR 时，Egger 检验（Z=-0.32，P=0.751 8）和 Begg 检验（Z=-1.30，P=0.243 7）显示无发表偏倚，漏斗图见图 5。结局指标为甘油三酯时由于纳入研究较少（n=9），未进行发表偏倚检验。

2.7　亚组分析　结合纳入文献情况，按 BMI 值可分为≤28 kg/m² 组与＞28 kg/m² 组，按运动类型可分为有氧运动组与混合运动组。结局指标为 HOMA-IR 时，BMI≤28 kg/m² 组包含 3 篇文献[19-20,26]，BMI＞28 kg/m² 组包含 8 篇文献[17-18,21-25,27]，有氧运动组包含 7 篇文献[17-18,20-22,25-26]，混合运动组包含 4 篇文献[19,23-24,26]。结局指标为甘油三酯时，BMI≤28 kg/m² 组包含 3 篇文献[19-20,26]，BMI＞28 kg/m² 组包含 5 篇文献[17-18,21-22,25]，有氧运动组包含 7 篇文献[17-18,20-22,25-26]，混合运动组包含 2 篇文献[19,26]。各亚组异质性均达到中度水平及以上（I^2≥25%或 P≤0.1），采用随机效应模型分析，使结果更保守稳健。亚组分析结果见表 2。

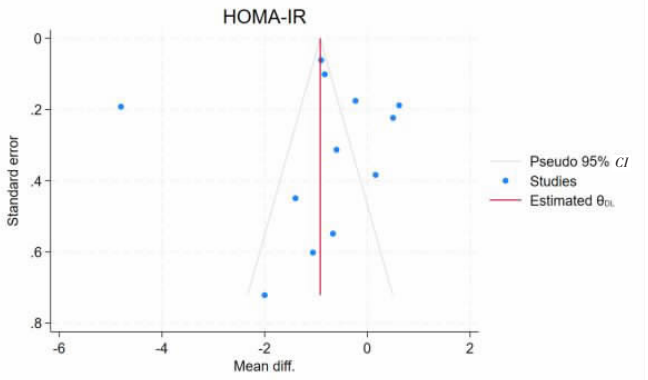


图 5　HOMA-IR 发表偏移检验漏斗图

Figure 5　Funnel plot for publication bias test of HOMA-IR

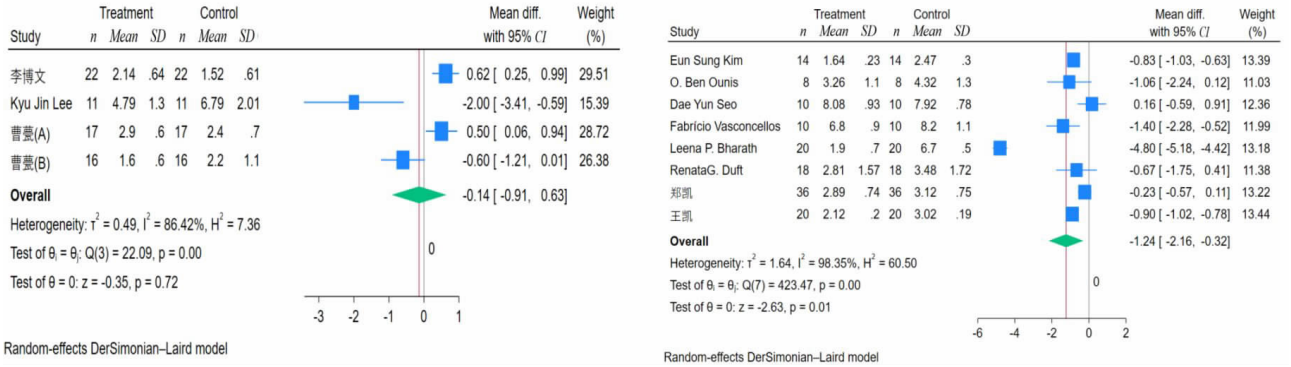
表 2　运动对肥胖儿童青少年 IR 干预效果的亚组分析结果

Table 2　Subgroup analysis of the intervention effect of exercise on IR in obese adolescents

亚组	分组	结局指标	MD 值（95%CI）	P 值
BMI(kg/m²)	≤28	HOMA-IR	-0.14（-0.91 ~ 0.63）	0.72
	＞28		-1.24（-2.16 ~ -0.32）	0.01
	≤28	甘油三酯	-0.15（-0.38 ~ 0.09）	0.22
	＞28		-0.38（-0.74 ~ -0.03）	0.03
运动类型	有氧运动	HOMA-IR	-0.68（-1.08 ~ -0.29）	0.00
	混合运动		-1.09（-4.09 ~ 1.91）	0.48
	有氧运动	甘油三酯	-0.38（-0.68 ~ -0.08）	0.01
	混合运动		-0.07（-0.31 ~ 0.16）	0.53

2.7.1　不同亚组中 HOMA-IR 的干预效果　BMI 亚组分析结果显示，在 BMI≤28 kg/m² 的肥胖儿童青少年中，运动干预降低 HOMA-IR 的合并效应量为 *MD*=-0.14（95%*CI*：-0.91～0.63），即运动干预使受试者 HOMA-IR 水平下降 0.14，但无统计学显著性（*P*>0.05）。在 BMI>28 kg/m² 的肥胖儿童青少年中，运动干预降低 HOMA-IR 的合并效应量为 *MD*=-1.24（95%*CI*：-2.16～-0.32），即运动干预使受试者 HOMA-IR 水平下降 1.24，且具有统计学显著性（*P*<0.05）。见图6。

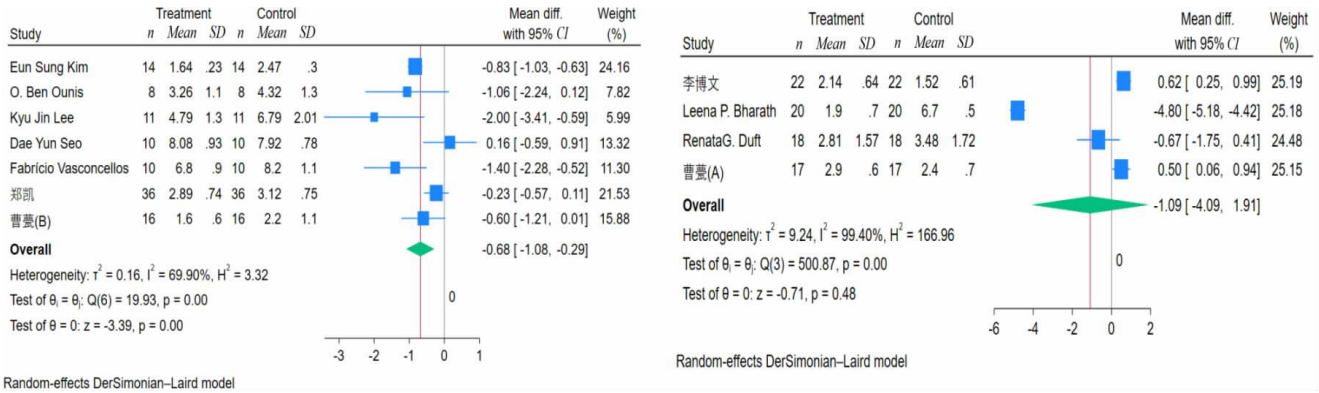
运动类型亚组分析结果显示，有氧运动干预降低受试者 HOMA-IR 的合并效应量为 *MD*=-0.68（95%*CI*：-1.08～-0.29），即有氧运动干预使受试者 HOMA-IR 水平下降 0.68，且具有统计学显著性（*P*<0.01）。混合运动干预降低受试者 HOMA-IR 的合并效应量为 *MD*=-1.09（95%*CI*：-4.09～1.91），即有氧运动干预使受试者 HOMA-IR 水平下降 1.09，但无统计学显著性（*P*>0.05）。见图 7。



注：左侧森林图为 BMI≤28 kg/m² 组；右侧森林图为 BMI>28 kg/m² 组。

图 6　运动对不同 BMI 肥胖儿童青少年 HOMA-IR 的干预效果

Figure 6　Intervention effect of exercise on HOMA-IR in obese adolescents with different BMI



注：左侧森林图为有氧运动组；右侧森林图为混合运动组。

图 7　不同运动类型对肥胖儿童青少年 HOMA-IR 的干预效果

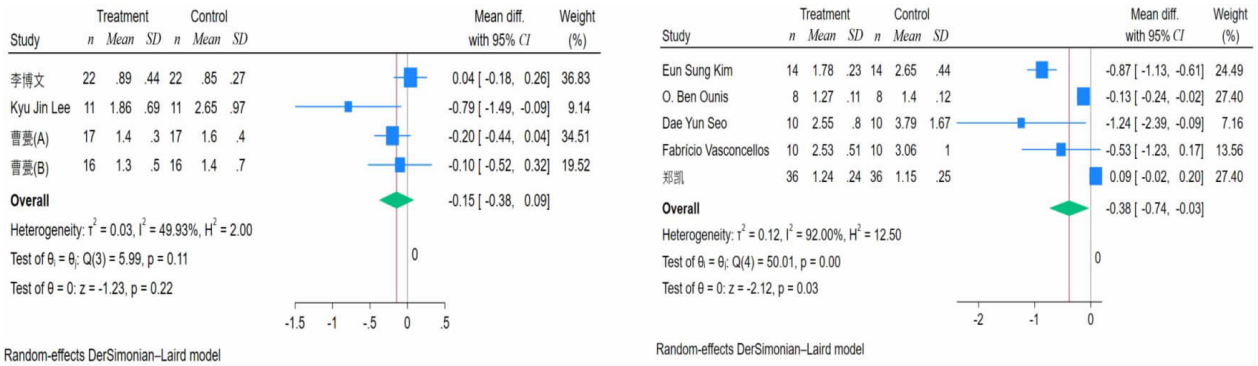
Figure 7　Intervention effect of different exercise types on HOMA-IR in obese adolescents

2.7.2　不同亚组中甘油三酯的干预效果　BMI 亚组分析结果显示，在 BMI≤28 kg/m² 的肥胖儿童青少年中，运动干预降低甘油三酯的合并效应量为 *MD*=-0.15（95%*CI*：-0.38～0.09），即运动干预使受试者甘油三酯下降 0.15 mmol/L，但无统计学显著性（*P*>0.05）。在 BMI>28 kg/m² 的肥胖儿童青少年中，运动干预降低甘油三酯的合并效应量为 *MD*=-0.38（95%*CI*：-0.74～-0.03），即运动干预使受试者甘油三酯下降 0.38 mmol/L，且具有统计学显著性（*P*<0.05）。见图 8。

运动类型亚组分析结果显示，有氧运动干预降低受试者甘油三酯的合并效应量为 *MD*=-0.38（95%*CI*：-0.68～-0.08），即有氧运动干预使受试者甘油三酯下降 0.38 mmol/L，且具有统计学显著性（*P*<0.05）。混合运动干预降低受试者甘油三酯的合并效应量为 *MD*=-0.07（95%*CI*：-0.31～0.16），即混合运动干预使受试者甘油三酯下降 0.07 mmol/L，但无统计学显著性（*P*>0.05）。见图 9。

3　讨　论

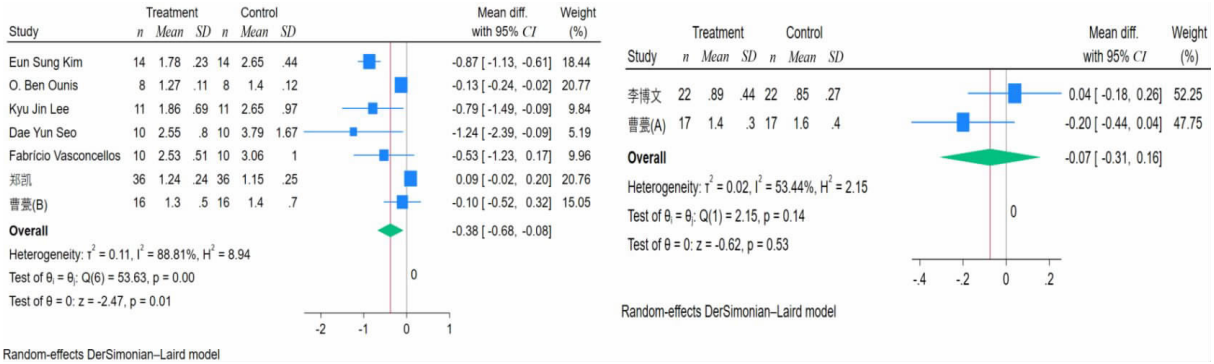
研究结果显示，运动使肥胖儿童青少年的 HOMA-IR 水平降低 0.92，甘油三酯降低 0.28 mmol/L，且效果显著（*P*<0.05），说明运动可以有效改善肥胖儿童青少年的 IR。亚组分析结果显示，当受试者 BMI≤28 kg/m² 时，运动干预使 HOMA-IR 水平降



注：左侧森林图为 BMI≤28 kg/m² 组；右侧森林图为 BMI>28 kg/m² 组。

图 8　运动对不同 BMI 肥胖儿童青少年甘油三酯的干预效果

Figure 8　Intervention effect of exercise on TG in obese adolescents with different BMI



注：左侧森林图为有氧运动组；右侧森林图为混合运动组。

图 9　不同运动类型对肥胖儿童青少年甘油三酯的干预效果

Figure 9　Intervention effect of different exercise types on TG in obese adolescents

低 0.14，甘油三酯降低 0.15 mmol/L；当受试者 BMI>28 kg/m² 时，运动干预使 HOMA-IR 水平降低 1.24，甘油三酯降低 0.38 mmol/L。但 BMI≤28 kg/m² 受试者的 HOMA-IR 和甘油三酯的降低效果均不具备统计学显著性（$P>0.05$），可见干预效果在 BMI>28 kg/m² 的受试者中更明显（$P<0.05$）。当运动类型不同时，有氧运动使受试者的 HOMA-IR 水平降低 0.68，甘油三酯降低 0.38 mmol/L，均效果显著（$P<0.05$）；混合运动使受试者的 HOMA-IR 水平降低 1.09，甘油三酯降低 0.07 mmol/L，但效果均不显著（$P>0.05$），可见有氧运动的干预效果更明显。

研究指出，运动改善 IR 的机制是由诸多生理及分子机制来加强外周组织对于胰岛素的敏感程度实现的，并且可规避胰岛素信号通路，直接促进葡萄糖摄取[28]。另外，骨骼肌承担着餐后大约 80%的葡萄糖处理工作，属于人体最大的胰岛素敏感组织，规律性的运动训练可以明显强化其中葡萄糖转运蛋白 4（glucose transporter 4，GLUT4）的表达及其向细胞膜移动的速度[29-30]，而有氧运动大多借助激活 AMP 活化蛋白激酶（AMP-activated protein kinase，AMPK）通路，在无需胰岛素的情况下促使 GLUT4 朝着细胞膜方向移动，以提升葡萄糖的摄取与利用[31]。运动诱发的白细胞介素 -6（interleukin-6，IL-6）则可抑制脂肪组织发炎，帮助肝糖原分解并加强脂肪酸氧化[32]。然而部分研究显示，单纯通过运动改善 IR 的效果并非最优[19,21,25-26]，有时搭配营养干预效果更佳，这提示 IR 的改善是多因素调控的结果，单纯依靠运动难以实现最优的代谢改善效益，需要将运动干预与其他干预科学综合以提升干预效益。另一方面，纳入研究中有的合并效应量置信区间较宽[20-22]，这提示当研究人群为处于生长发育阶段的儿童青少年时，个体差异不可忽视，后续开展青少年运动干预研究时应对此加以注意，充分考虑实施分层设计与制定个性化干预方案。

近年研究表明，四周以上的运动干预能够使超重或肥胖儿童青少年的 HOMA-IR 产生显著降低[WMD=-0.82（95%CI：-1.07 ~ -0.59）]，其中有氧运动[WMD=-0.76（95%CI：-1.03 ~ -0.50）] 和混合运动[WMD=-1.11（95%CI：-1.71 ~ -0.51）]效果显著，但抗阻运动效果不显著 [WMD=-0.37（95%CI：-1.37 ~ 0.62）][33]。而 LIU Q 等人[34]的研究则显示，与对照组相比，有氧运动[SMD=-0.54（95%CI：-1.00 ~ -0.08）]和高强度间歇运动（high-intensity interval training，HIIT）[SMD=-1.21（95%CI：-1.76 ~ 0.65）]能显著改善肥胖儿童青少年的 HOMA-IR 水平，但混合运动和抗阻运

动的干预效果不明显，并提议将有氧运动作为基础性干预措施，HIIT 和混合运动作为强化干预措施。一项纳入 17 项 6 周以上运动干预的分析表明，运动能够降低超重或肥胖儿童青少年的 HOMA-IR，其中有氧运动[*MD*=-1.33（95%*CI*：-2.47 ~ -0.18）]的干预效果显著；并且与本研究类似，纳入的抗阻运动干预研究数量较少，难以开展相关统计分析[35]。可见，已有的相近研究已经较为科学的得出了部分基本结论，但目前还未发现排除受试者服用导致体成分变化、慢性疾病药物等影响胰岛素代谢药物的相关研究，这或许会因为受试者可能在试验期间保持了原来的用药习惯而对研究结论造成影响；更严格的纳入标准是导致本研究与其他相近研究相比纳入文献较少的主要原因，亦是分析进一步细化与深入的体现。同时，对饮食营养干预的限定也利于提高分析的合理性。

本研究纳入文献中的运动类型未出现单纯抗阻运动干预，后续研究可以开展相关实证探究，以优化临床实践策略。纳入文献中不同类型运动间的运动强度标准难以统一，致使最佳运动强度的探讨难以开展，而相同运动类型的研究中，干预方案的时间跨度较为集中，建议后续研究可以着眼于此，例如探究不同强度运动干预的干预效果以及单次急性运动或中长期运动干预的干预效果，进而探寻较为高效的运动干预方案。

本研究的局限性：（1）纳入文献多数未对分配隐藏进行报道，可能影响结果的稳健性。（2）同类型运动的干预效果可能会由于研究对象特征（性别、年龄等）以及干预方案（频率、周期等）的不同产生差异，受研究数量所限，难以进行相关亚组分析。（3）由于部分文献无法获取全文以及未获取数据库检索外灰色文献，可能会导致遗漏部分研究。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Steiner DF.Insulin through the ages: phylogeny of a growth promoting and metabolic regulatory hormone [J]. American Zoologist, 2000, 40 (2): 213-222.

[2] Petersen MC, Shulman GI. Mechanisms of insulin action and insulin resistance[J]. Physiological Reviews, 2018, 98(4): 2133-2223.

[3] Xu R. Insulin resistance in obese children and adolescents: from mechanisms to screening and exercise intervention [J]. Frontiers in Pediatrics, 2026, 14: 1679527.

[4] Lee JM. Insulin resistance in children and adolescents[J].Rev Endocr Metab Disord, 2006, 7(3): 141-147.(In Chinese)

[5] Yin JH, Li M, Xu L, et al. Insulin resistance determined by Homeostasis Model Assessment (HOMA) and associations with metabolic syndrome among Chinese children and teenagers [J]. Diabetology & Metabolic Syndrome, 2013, 5(1): 71.

[6] Gaya ACA, Dias AF. Relationship between insulin resistance and adipocytokines: the mediator role of adiposity in children [J]. Annals of Human Biology, 2020, 47(3): 244-249.

[7] Tagi VM, Giannini C, Chiarelli F. Insulin resistance in children[J]. Frontiers in Endocrinology, 2019, 10: 342.

[8] Weihe P, Weihrauch-Bluher S. Metabolic syndrome in children and adolescents: diagnostic criteria, therapeutic options and perspectives [J]. Current Obesity Reports, 2019, 8(4): 472-479.

[9] Stoner L, Beets MW, Brazendale K, et al. Exercise dose and weight loss in adolescents with overweight-obesity: a Meta-Regression [J]. Sports Medicine, 2019, 49(1): 83-94.

[10] Chaput JP, Willumsen J, Bull F, et al. 2020 WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour for children and adolescents aged 5-17 years: summary of the evidence [J]. The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 2020, 17(1): 141.

[11] lee J. Influences of exercise interventions on overweight and obesity in children and adolescents [J]. Public Health Nursing, 2021, 38(3): 502-516.

[12] del DCNM. Strength training in children and adolescents: benefits, risks and recommendations [J]. Archivos Argentinos de Pediatria, 2018, 116(6): S82-S91.

[13] Liu X, Li Q, Lu FX, et al. Effects of aerobic exercise combined with resistance training on body composition and metabolic health in children and adolescents with overweight or obesity: systematic review and meta-analysis [J]. Front Public Health, 2024, 12: 1409660.

[14] García-Hermoso A, López-Gil JF, Izquierdo M, et al. Exercise and insulin resistance markers in children and adolescents with excess weight: a systematic review and network Meta-Analysis [J]. JAMA Pediatrics, 2023, 177(12): 1276-1284.

[15] 中华医学会儿科学分会罕见病学组，中华医学会儿科学分会心血管学组，中华医学会儿科学分会儿童保健学组，等. 儿童脂质异常血症诊治专家共识（2022）[J]. 中华儿科杂志，2022，60（7）：633-639.
The Subspecialty Group of Rare Diseases, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association; the Subspecialty Group of Cardiology, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association; the Subspecialty Group of Child Health Care, the Society of Pediatrics, Chinese Medical Association, et al. Expert consensus on diagnosis and management of dyslipidemia in children [J]. Chin J Pediatr, 2022, 60(7): 633-639.(In Chinese)

[16] 中华医学会糖尿病学分会. 胰岛素抵抗相关临床问题专家共识（2022 版）[J]. 中华糖尿病杂志，2022，14（12）：1368-1379.
Chinese Diabetes Society. Expert consensus on insulin resistance (2022 edition)[J]. Chinese Journal of Diabetes Mellitus, 2022, 14(12): 1368-1379.(In Chinese)

[17] Kim ES, Im JA, Kim KC, et al. Improved insulin sensitivity and adiponectin level after exercise training in obese Korean youth [J]. Obesity (Silver Spring, Md.), 2007, 15(12): 3023-3030.

[18] Ben ounis O, Elloumi M, Ben Chiekh I, et al. Effects of two-month physical-endurance and diet-restriction programmes on lipid profiles and insulin resistance in obese adolescent boys [J]. Diabetes & Metabolism, 2008, 34(6 Pt 1): 595-600.

[19] 李博文，王正珍. 短期运动和营养对肥胖少年部分代谢指标的影响[J]. 中国康复理论与实践，2010，16（5）：483-485.

Li BW, Wang ZZ. Effects of short-term aerobic exercise and nutrition on physical fitness and metabolism of obesity adolescents[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2010, 16(5): 483-485.(In Chinese)

[20] Shin YA, Lee KY. Aerobic exercise training-induced decrease in plasma visfatin and insulin resistance in obese female adolescents[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2010, 20(4): 275-281.

[21] Seo DY, Lee S, Figueroa A, et al. Yoga training improves metabolic parameters in obese boys [J]. The Korean Journal of Physiology & Pharmacology: Official Journal of the Korean Physiological Society and the Korean Society of Pharmacology, 2012, 16(3): 175-180.

[22] Vasconcellos F, Seabra A, Cunha F, et al. Health markers in obese adolescents improved by a 12-week recreational soccer program: a randomised controlled trial [J]. Journal of Sports Sciences, 2016, 34 (6): 564-575.

[23] Bharath LP, Choi WW, Cho JM, et al. Combined resistance and aerobic exercise training reduces insulin resistance and central adiposity in adolescent girls who are obese: randomized clinical trial [J]. European Journal of Applied Physiology, 2018, 118 (8): 1653-1660.

[24] Duft RG, Castro A, Bonfante ILP, et al.Altered metabolomic profiling of overweight and obese adolescents after combined training is associated with reduced insulin resistance [J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 16880.

[25] 郑凯. 有氧运动对超重或肥胖儿童炎症因子、胰岛素抵抗及内皮功能的影响 [J]. 中华物理医学与康复杂志,2020,42(3):193-197.
Zheng K. The effects of aerobic exercise on inflammatory factors, insulin resistance and endothelial function in overweight or obese children[J]. Chinese Journal of Physical Medicine and Rehabilitation, 2020, 42(3): 193-197.(In Chinese)

[26] 曹甍,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.
Cao M, Tang YC, Li S, et al. Effects of High-Intensity interval training on body composition, cardiorespiratory fitness and blood indicators of children with obesity: a randomized controlled trial[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 2022, 41 (2): 109-117. (In Chinese)

[27] 王凯,徐百超,王朝昕,等. 组合运动干预对肥胖女青少年身体成分、心血管风险因素及心肺适能影响的研究[J]. 中国全科医学,2024,27(9):1109-1117.
Wang K, Xu BC, Wang CX, et al. Effects of combined motion intervention on body composition, cardiovascular risk factors and cardiopulmonary fitness of obese female adolescents [J]. Chinese General Practice, 2024, 27(9): 1109-1117.(In Chinese)

[28] Lin J, Liu X, Zhou Y, et al. Molecular basis of irisin regulating the effects of exercise on insulin resistance [J]. Applied Sciences, 2022, 12(12): 5837.

[29] Feraco A, Gorini S, Armani A, et al. Exploring the role of skeletal muscle in insulin resistance: lessons from cultured cells to animal models[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2021, 22(17): 9327.

[30] Rahmati-Ahmadabad S, Rostamkhani F, Meftahi GH, et al. Comparative effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on soleus muscle fibronectin type III domain-containing protein 5, myonectin and glucose transporter type 4 gene expressions: a study on the diabetic rat model [J]. Molecular Biology Reports, 2021, 48(8): 6123-6129.

[31] Ahsan M, Garneau L, Aguer C. The bidirectional relationship between AMPK pathway activation and myokine secretion in skeletal muscle: How it affects energy metabolism[J]. Frontiers in Physiology, 2022, 13: 1040809.

[32] Yang M, Luo SL, Yang JF, et al. Myokines: novel therapeutic targets for diabetic nephropathy [J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 1014581.

[33] Kazeminasab F, Sharafifard F, Miraghajani M, et al. The effects of exercise training on insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: a systematic review and meta-analysis[J]. Frontiers in Endocrinology, 2023, 14: 1178376.

[34] Liu QZ, Xin XY, Wang H, et al. Optimizing exercise strategies for insulin resistance in children and adolescents with overweight or obesity: a network Meta-Analysis [J]. Pediatric Obesity, 2026, 21(4): e70104.

[35] Marson EC, Delevatti RS, Prado AKG, et al. Effects of aerobic, resistance, and combined exercise training on insulin resistance markers in overweight or obese children and adolescents: A systematic review and meta-analysis [J]. Preventive Medicine, 2016, 93: 211-218.

收稿日期:2026-04-10

(上接第 3172 页)

63-70.
Wu QY, Liu LS, Gong MX, et al. A comparative study on the payment reform for therapeutic value of dominant diseases of Traditional Chinese Medicine at provincial level [J]. Chinese Journal of Health Policy, 2025, 18(8): 63-70.(In Chinese)

[18] 邵茵,倪婧妍,张颖,等. 中医优势病种价值医疗支付准入指标体系研究——以“劳淋”病种为例[J]. 中国医院管理,2026,46(2):61-65.
Shao Y, Ni JY, Zhang Y, et al. Research on the value-based medical payment access index system for advantageous diseases in traditional Chinese medicine: taking the disease of "overstrain stranguria" as an example [J]. Chinese Hospital Management, 2026, 46 (2): 61-65.(In Chinese)

收稿日期:2026-02-11