

• 健康促进 •

改善儿童青少年脂肪因子的最佳运动类型 及循证实践建议的网状 Meta 分析

李齐晟¹, 殷明越², 郑华坤³, 徐恺⁴, 刘骞¹

1. 四川农业大学体育学院, 四川 雅安 625014; 2. 澳大利亚天主教大学 Mary MacKillop 健康研究所;

3. 上海体育大学 运动健康学院; 4. 伊迪斯科文大学 医学与健康科学学院

摘要: **目的** 系统评估不同运动类型及剂量对儿童青少年脂肪因子的影响, 为缓解儿童青少年肥胖提供精准循证实践建议。**方法** 检索 6 个数据库(建库至 2024 年 11 月), 纳入不同运动类型改善儿童及青少年脂肪因子的随机对照试验(RCT), 使用 R 软件进行贝叶斯分析, 用 Cochrane 与 CINeMA 进行风险偏倚与证据等级评估。**结果** 纳入 46 篇随机对照试验, 涵盖 2 105 名(女性比例 48.32%)的儿童青少年。结果显示, 相较于无运动组, 有氧联合抗阻运动是降低瘦素水平($MD = -7.34, 95\%CrI: -11.17 \sim -3.73, SUCRA = 94.37$)与提高脂联素水平($MD = 1.79, 95\%CrI: 0.92 \sim 2.65, SUCRA = 95.42$)的最佳运动类型, 而高强度间歇运动是降低白细胞介素-6 水平($MD = -3.98, 95\%CrI: -10.57 \sim -0.19, SUCRA = 95.27$)与肿瘤坏死因子- α 水平($MD = -6.61, 95\%CrI: -9.96 \sim -3.15, SUCRA = 99.98$)的最佳运动。**结论** 高强度间歇运动与有氧联合抗阻运动是改善脂肪因子的最佳运动。

关键词: 运动; 脂肪因子; 儿童青少年; 贝叶斯分析; 剂量反应**中图分类号:** G804.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-6579(2026)07-0775-08 **doi:** 10.11852/zgetbjzz2025-0803

Network Meta-analysis of optimal exercise modalities and evidence-based practice recommendations for improving adipokines in children and adolescents

LI Qisheng¹, YIN Mingyue², ZHENG Huakun³, XU Kai⁴, LIU Qian¹

1. School of Physical Education, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. The Mary MacKillop Institute for Health Research, Australian Catholic University;

3. School of Sports Health, Shanghai University of Sport;

4. School of Medical and Health Sciences, Edith Cowan University

Corresponding author: LIU Qian, E-mail: liuqian6000@sicau.edu.cn

Abstract: **Objective** To systematically evaluate the effects of different exercise modalities and doses on adipokines in children and adolescents, so as to provide precise evidence-based practice recommendations for alleviating obesity in this population. **Methods** Six databases were searched from inception to November 2024 for randomized controlled trials (RCTs) investigating the effects of various exercise modalities on adipokines in children and adolescents. Bayesian network meta-analysis was conducted using R software. Risk of bias and certainty of evidence were assessed using the Cochrane risk-of-bias tool and CINeMA framework. **Results** A total of 46 RCTs involving 2 105 children and adolescents (48.32% female) were included. Compared with the non-exercise group, combined aerobic and resistance exercise was the most effective modality for reducing leptin levels ($MD = -7.34, 95\%CrI: -11.17$ to $-3.73, SUCRA = 94.37$) and increasing adiponectin levels ($MD = 1.79, 95\%CrI: 0.92$ to $2.65, SUCRA = 95.42$). High-intensity interval training was the most effective exercise modality for reducing interleukin-6 levels ($MD = -3.98, 95\%CrI: -10.57$ to $-0.19, SUCRA = 95.27$) and tumor necrosis factor- α levels ($MD = -6.61, 95\%CrI: -9.96$ to $-3.15, SUCRA = 99.98$). **Conclusion** High-intensity interval training and combined aerobic and resistance exercise appear to be the most effective exercise modalities for improving adipokines in children and adolescents.

Keywords: exercise; adipokines; children and adolescents; bayes analysis; dose-response

脂肪因子是由脂肪细胞分泌的一类具有生物活性的信号分子^[1], 包含瘦素、脂联素、白细胞介素-6 (interleukin 6, IL-6)、肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)等多种生物活性物质, 这些因

基金项目: 国家级大学生创新训练计划项目资助(202510626037)**作者简介:** 李齐晟(2004—), 男, 在读硕士研究生, 主要研究方向为运动与健康促进。**通信作者:** 刘骞, E-mail: liuqian6000@sicau.edu.cn

子通过调控全身或局部代谢途径,在炎症反应与免疫调节等生理过程中发挥关键作用,进而参与肥胖及其相关代谢性疾病的病理生理进程^[2]。肥胖与全身性低水平炎症相关,而后者是心血管疾病、代谢综合征和 2 型糖尿病等慢性疾病的病理基础^[3]。鉴于脂肪因子的作用,开发基于脂肪因子调控的有效干预策略已成为控制儿童青少年肥胖及相关慢性疾病的重要研究方向。

运动干预因其在减重和健康促进方面的多重效益,已成为当前肥胖防控的主要趋势。运动不仅能有效减轻体重,还可通过调节代谢激素水平、改善慢性炎症状态,预防与治疗肥胖及相关代谢性疾病^[4]。然而,有研究认为有氧运动改善瘦素与 IL-6 最佳^[5];也有研究表明有氧联合抗阻运动改善脂肪因子最优^[6],更有学者主张高强度间歇训练应作为优化瘦素、脂联素及 TNF- α 水平的首选方案^[7]。现有 Meta 分析受限于纳入研究数量不足^[8]与证据等级较低等问题^[6,9],且在不同运动类型的比较效果评价及儿童青少年人群等方面仍存明显不足。

鉴于此,本研究旨在通过网状 Meta 分析探索不同运动类型(有氧运动、有氧联合抗阻运动、高强度间歇训练、抗阻运动)对儿童青少年脂肪因子的应用效果并对其进行有效性排名,为缓解儿童青少年肥胖提供精准循证实践建议。

1 资料与方法

1.1 文献纳入和排除标准

1.1.1 纳入标准 1)研究对象:8~18 岁儿童青少年;2)干预措施:任何一种运动形式或者两者的组合;3)对照措施:非运动锻炼活动或保持之前的生活方式,允许直接对比不同运动模式之间的效果;4)结局指标:包括下列一项以上脂肪因子指标,如瘦素、脂联素、TNF- α 、IL-6 等;5)研究类型:随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)。

1.1.2 排除标准 1)使用急性运动干预或结合非运动干预,如热量限制、药物干预、补剂支持等;2)无法获得全文或其他有关资料的;3)会议摘要、案例报告、重复出版物等;4)非原创研究论文,如文献综述论文、会议论文摘要或病例报告等。

1.2 文献检索策略 计算机检索中国知网(CNKI)、PubMed、Web of Science、Scopus、Embase 和 Cochrane Library 数据库,采用主题词与自由文本结合的方法,检索时间为数据库建库到 2024 年 11 月。中文检索词包括:运动、训练、儿童、青少年、脂肪因子(如瘦素、脂联素等)以及随机对照实验(RCT)等,将检索词以布尔逻辑运算符“OR”和(或)

“AND”进行组合。英文检索式(以 Pubmed 为例)为("Exercise" OR "training") AND ("child" OR "adolescent") AND ("Adipokines" OR "Leptin" OR "Adiponectin" OR "IL-6" OR "TNF- α ") AND ("Randomized controlled trial")。

1.3 文献筛选与资料提取 文章审阅过程严格遵循 PRISMA 的最新指南^[10]。两位审稿人确定所有可能相关的研究。从符合纳入标准的研究中提取资料,包括研究设计、参与者特征、干预措施及结局指标。对于报告中包含两个或以上时间点数据的研究,本研究仅提取基线期与干预结束后这两个时间点的数据。各结局指标采用统一单位,并对不同单位研究按标准换算系数进行统一转换^[11]。若数据仅以图表形式呈现,本研究使用 Web Plot Digitizer 软件进行数据提取。在整个过程中,若两位评审员出现意见分歧,将通过协商讨论解决或请第三位独立作者仲裁,直至形成共识。

1.4 数据编码与管理 对于运动干预,本研究使用特定身体活动的强度[代谢当量(METs)] $\times$ 每周运动频率 $\times$ 单次运动时间来定义运动单位强度,并以 METs-mins/周表示^[11]。

1.5 纳入文献质量评价 偏倚风险评估采用 Cochrane 偏倚风险工具^[12],两位审稿人独立评估纳入研究的偏倚风险(ROB)。任何分歧均通过讨论达成共识或咨询第三方做出最后决定来解决。工具包括 7 个方面:随机方法、是否分配隐藏、参与者和研究人员的盲法、结果评估的盲法、是否有不完整结局数据、是否有选择性报告、是否有其他偏倚。对于每个偏倚领域,根据现有信息对研究进行评估并分类为低、高或不明确风险(报告不足阻碍了对某些领域的评估)。

1.6 证据质量评价 证据质量使用网状 Meta 分析可信度评估工具(CINeMA)^[13]从研究内偏倚、研究间偏倚、间接性、不精确性、异质性和不一致性 6 个内容对网状 Meta 分析结果综合评价,并对单个结局指标进行质量分级。针对以上 6 个方面内容,每个方面的局限性判定为“无”、“中等”、“严重”,分别对应降 0、1 或 2 级。最终证据质量等级分为高、中、低和极低。

1.7 统计学方法 应用 R 4.4.1 软件调用 JAGS 4.3.1 进行贝叶斯网状 Meta 分析。采用干预前后平均值和标准差的变化值进行效应量合并,以减少基线差异的影响。效应量用均值差(mean difference, MD)及其 95% 可信区间(credible interval, CrI)。运用马尔科夫链蒙特卡罗法(Markov chain Monte Carlo, MCMC)合并间接比较与直接比较结

局,采用 4 个链和一致性模型进行网状 Meta 分析和累积概率排序,初始值设置为 0.5,步进大小为 10,迭代次数为 50 000 次。前 20 000 次迭代用于退火,以消除初始值的影响,最后 30 000 次迭代用于采样。使用接近 1.0 的潜在尺度缩减因子(PSRF)证实了模型的收敛性。因纳入研究的多样性及多组干预的潜在异质性,使用随机效应模型进行直接评估与间接预测^[14]。绘制排序概率图,对各个干预措施的结局指标效果优劣进行排序,使用累计排序概率图下面积(surface under the cumulative ranking curve, SUCRA)^[15]进行排序,其结果正比于改善效果^[16]。用 I^2 以判断异质性大小,使用亚组分析、敏感性分析、meta 回归分析与剂量反应分析探索异质

性的影响,剂量分析采用 Hedges' g 作为标准化效应量指标。采用节点分裂法检验直接比较和间接比较的局部不一致性。此外,漏斗图结合 Egger 检验来评估发表偏倚,其中 $P > 0.05$ 表示无发表偏倚或小样本效应。

2 结果

2.1 文献筛选流程及结果 最初共确定了 480 篇可能符合条件的文章,其中 472 篇来自数据库检索,2 篇来自参考文献列表,6 篇从先前版本综述中纳入。经逐层筛选后,最终纳入 46 篇 RCT,进行定量综合。文献筛选流程及结果见图 1。

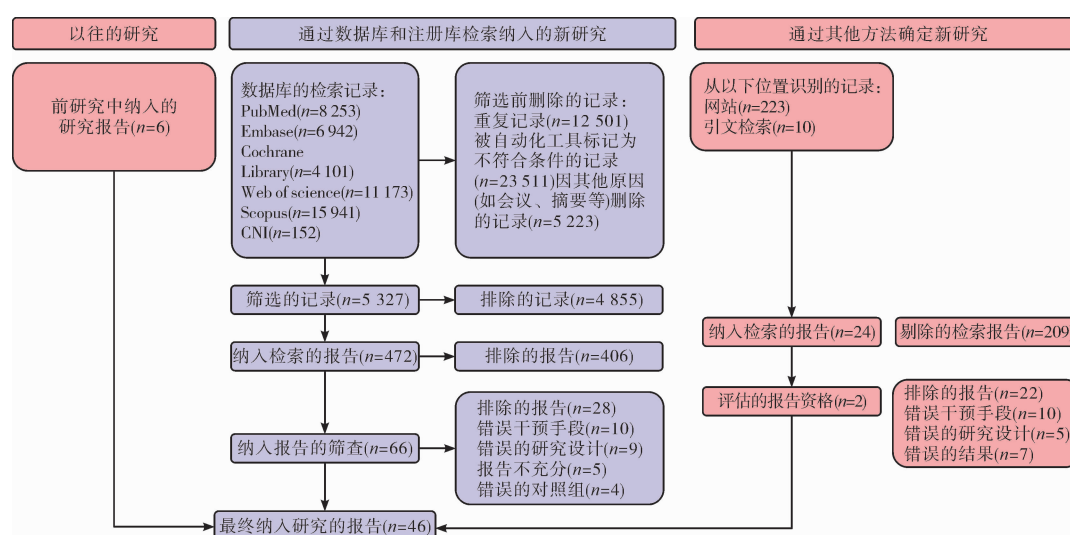


图 1 文献检索流程图

Fig. 1 Flow chart of literature retrieval

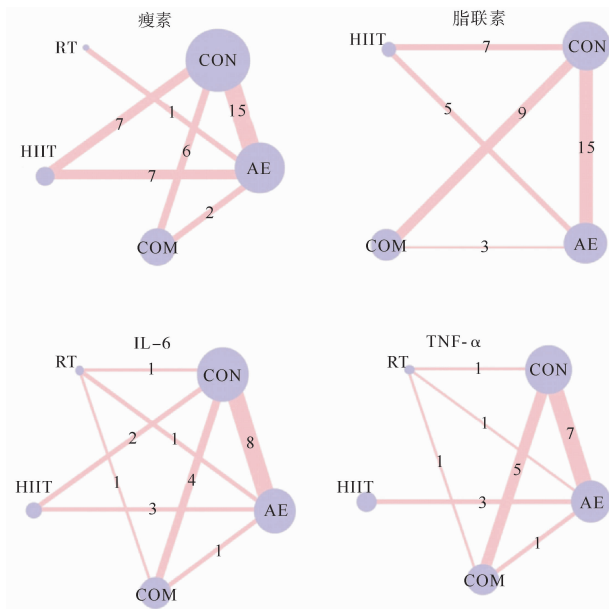
2.2 纳入文献基本信息 在纳入的 2 105 名儿童中,女性占 48.32%,平均年龄为 14 岁,平均运动干预时间为 (17 ± 12) 周,每周平均干预次数为 4 ± 1 。涵盖以下结果:瘦素(研究 28 项),脂联素(研究 30 项),IL-6(研究 12 项),TNF- α (研究 13 项)。节点分割法显示,各项结局指标的直接比较证据与间接比较证据具有一致性 $(P > 0.05)$,结果可靠性较高,不存在显著的局部不一致性。偏移风险方面,共有 43 篇文献明确陈述了分组分配的方法,4 篇报告了分配隐藏。在数据的完整性评价条目中,失访率超过 20% 且未采用意向性分析则评价为高风险,纳入研究中共 7 篇失访率超过 20%,所有研究均报告了失访率。在其他偏倚中,纳入研究受试者样本量低于 10 人(小样本量偏倚)、运动干预缺乏监督、存在利益冲突等其中一项因素则评价为高风险。根据每个条目风险评价情况对每一项研究综合评级,高质

量研究 38 篇,中质量 5 篇,低质量 3 篇。证据质量方面,因研究偏倚风险、不精确性、异质性或不一致性降低了其证据质量,总体而言,大多数比较者在脂联素和肿瘤坏死因子方面处于高到中等水平,而在瘦素和 IL-6 方面处于中到低等水平。

2.3 网络证据图 图 2 为不同运动方式对青少年儿童脂肪因子应用效果的网络证据图。每个节点表示一个特定的运动模式,节点之间的连线表示两者进行直接比较,无连线则为间接比较证据,连线粗细以及数字表示比较研究的数量,节点的大小代表此方式的样本量。

2.4 合并效应量分析与排序结果

2.4.1 瘦素 共 28 项研究报道了瘦素的结果,涉及 4 种干预措施,无显著异质性 $(I^2 = 0\%)$ 。相较于对照组,有氧联合抗阻运动 $(MD = -7.34, 95\% CrI: -11.17 \sim -3.73, SUCRA = 94.37)$ 、有氧运动



注: CON 对照组, AE 有氧运动组, RT 抗阻训练组, COM 有氧联合抗阻训练组, HIIT 高强度间歇训练组。

图 2 不同运动方式影响儿童青少年脂肪因子的网状关系图

Fig. 2 Network relationship diagram of different exercise modalities affecting adipokines in children and adolescents

($MD = -3.04$, $95\%CrI: -5.31 \sim -0.85$, $SUCRA = 59.51$)与高强度间歇运动($MD = -2.90$, $95\%CrI: -5.72 \sim -0.85$, $SUCRA = 58.14$)显著降低儿童青少年瘦素,而抗阻运动无显著影响。见表 1。有氧联合抗阻运动效果最佳。累计概率排序与堆积概率排序结果见图 3。

2.4.2 脂联素 共 30 项研究报道了脂联素的结果,涉及 3 种干预措施,无显著异质性($I^2 = 0\%$)。与对照组相比,有氧联合抗阻运动($MD = 1.79$, $95\%CrI: 0.92 \sim 2.65$, $SUCRA = 95.42$)和高强度间歇运动($MD = 1.01$, $95\%CrI: 0.08 \sim 2.10$, $SUCRA = 69.43$)可显著提高儿童青少年脂联素水平,而有氧运动无显著影响。见表 1。有氧联合抗阻运动效果最佳。累计概率排序与堆积概率排序图见图 3。

2.4.3 IL-6 共 12 项研究报道了 IL-6 的结果,涉及 4 种干预措施,无显著异质性($I^2 = 39\%$)。与对照组相比,高强度间歇运动($MD = -3.98$, $95\%CrI: -10.57 \sim -0.19$, $SUCRA = 95.27$)显著降低 IL-6,而有氧运动($MD = -0.59$, $95\%CrI: -3.20 \sim 1.34$),

表 1 瘦素、脂联素、IL-6、TNF-α 的网状 Meta 分析联赛表 [$MD(95\%CrI)$]

Tab. 1 Network Meta-analysis matrix results of leptin and adiponectin, IL-6 and TNF-α [$MD(95\%CrI)$]

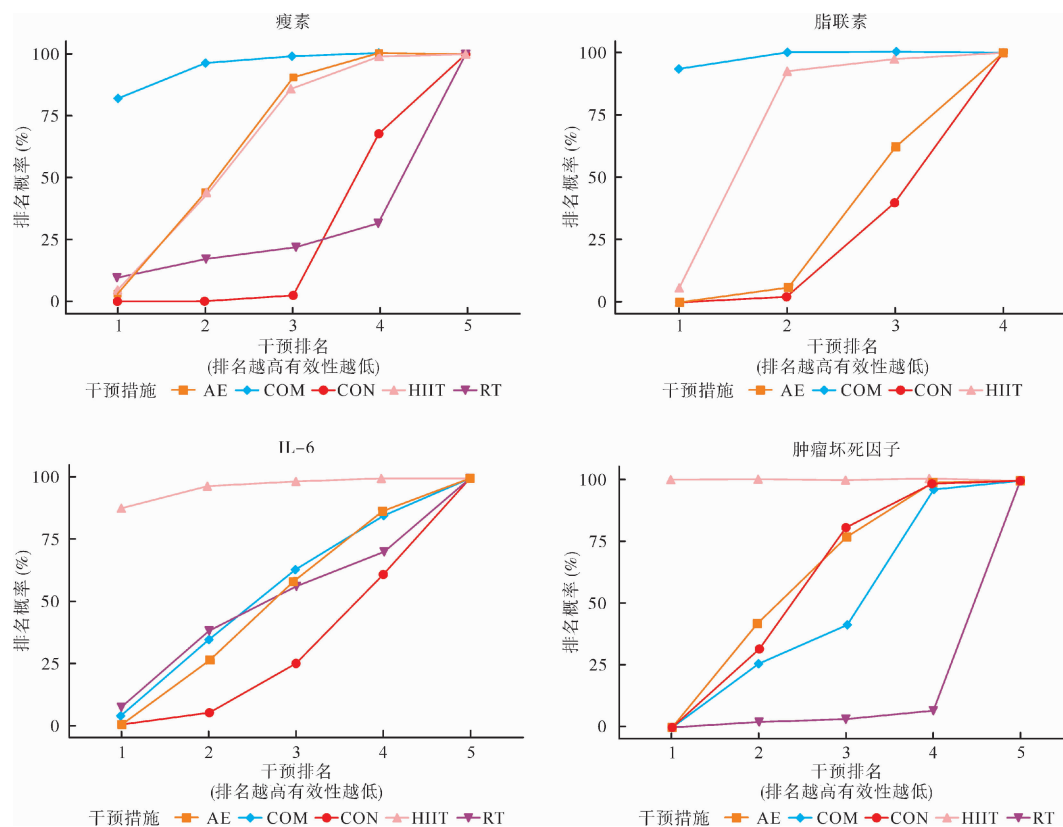
瘦素				
AE	COM	HIIT	RT	CON
4.31(0.30~8.50)*				
-0.13(-3.01~2.78)	-4.44(-9.08~0.02)			
-5.78(-19.23~7.60)	-10.09(-24.26~4.00)	-5.65(-19.45~8.12)		
-3.04(-5.31~-0.85)*	-7.34(-11.17~-3.73)*	-2.90(-5.72~-0.85)*	2.75(-10.81~16.33)	
脂联素				
AE	COM	HIIT	RT	CON
-1.73(-2.62~-0.78)				
-1.03(-2.12~0.09)	0.69(-0.59~1.98)			
/	/	/		
0.07(-0.63~0.78)	1.79(0.92~2.65)*	1.01(0.08~2.10)*	/	
IL-6				
AE	COM	HIIT	RT	CON
-0.18(-4.43~3.45)				
3.38(0.01~9.33)	3.57(-0.64~11.36)			
-0.16(-5.81~5.11)	0.02(-5.54~5.85)	-3.54(-12.34~1.46)		
-0.59(-3.20~1.34)	-0.41(-4.00~3.03)	-3.98(-10.57~-0.19)*	-0.44(-6.02~4.78)	
TNF-α				
AE	COM	HIIT	RT	CON
-0.11(-0.75~0.59)				
6.61(3.19~9.98)	6.72(3.28~10.10)			
-0.85(-1.73~0.06)	-0.74(-1.68~0.19)	-7.46(-10.93~-3.88)		
0.00(-0.34~0.41)	0.11(-0.50~0.70)	-6.61(-9.96~-3.15)*	0.85(-0.01~1.72)	

注: CON 对照组, AE 有氧运动组, RT 抗阻训练组, COM 有氧联合抗阻训练组, HIIT 高强度间歇训练组。* 表示两个干预组之间差异有统计学意义。每个单元格显示 MD, 以及 95%CrI。

抗阻运动($MD = -0.44$, $95\%CrI: -6.02 \sim 4.78$)和有氧联合抗阻运动($MD = -0.41$, $95\%CrI: -4.00 \sim 3.03$)无显著影响。见表 1。高强度间歇运动效果最佳。累计概率排序与堆积概率排序图见图 3。

2.4.4 TNF-α 共 13 项研究报道了 TNF-α 的结果,涉及 4 种干预措施,无显著异质性($I^2 = 18\%$)。

与对照组相比,高强度间歇运动($MD = -6.61$, $95\%CrI: -9.96 \sim -3.15$, $SUCRA = 99.98$)显著降低 TNF-α,而抗阻运动、有氧运动与有氧联合抗阻运动无显著影响。高强度间歇运动效果最佳。见表 1。累计概率排序与堆积概率排序图见图 3。



注: 累积概率是指特定运动方式在疗效方面排名的概率。累积排名曲线下表面(SUCRA)值用于评估不同运动干预之间的相对效果。更高的 SUCRA 值和更靠近左上角的累积排名曲线表明性能更好。CON 对照组, AE 有氧运动组, RT 抗阻训练组, COM 有氧联合抗阻训练组, HIIT 高强度间歇训练组。

图 3 每种运动类型的累积排名概率曲线

Fig. 3 Cumulative ranking probability curve and stacking probability ranking diagram of each sports type

2.5 亚组分析与 meta 回归分析 根据不同生长发育阶段人群特征, 分为儿童组(年龄 8~12 岁)、青春期中期组(13~15)和青春期后期组(16~18)。有氧联合抗阻运动对于儿童脂联素以及青春期后期人群瘦素、脂联素具有显著改善效果, 且效果最佳。高强度间歇运动只在儿童 IL-6 组具有统计学意义且效果最好。回归分析显示, 训练周期与频率对有氧运动、有氧联合抗阻运动与高强度间歇运动的效果均无显著调节作用($P > 0.05$)。

2.6 敏感性分析与剂量反应分析 排除 3 篇低质量研究后, 相较于原结果效应量的方向性与统计学显著性均未发生本质改变, 表明研究结果对研究质量较为稳健。每周运动干预剂量与脂肪因子之间呈非线性关系, 见图 4。瘦素呈现出 U 型的剂量-反应模式, 证明改善瘦素最佳剂量为 1 000 METs·mins/周 (Hedges' $g = -0.60, 95\% CrI: -0.87 \sim -0.32$), 当运动强度进一步提高时改善效果呈现出下降趋势。运动剂量与脂联素改善效果高度正相关, 出现显著效果的最小剂量为 964 METs·mins/周 (Hedges' $g = 0.24, 95\% CrI: 0.01 \sim 0.48$)。IL-6 与 TNF- α 的剂量反应无统计学意义。

2.7 发表偏倚或小样本效应检验 瘦素 ($P = 0.01$) 与 IL-6 ($P = 0.02$) 漏斗图呈现了不对称性, 且仍有部分点位于漏斗图外部, 其余结局指标均保持对称性, 无显著偏差。见图 5。

3 讨论

3.1 改善脂肪因子的最优运动类型解析与机制探究 瘦素主要由白色脂肪组织分泌, 通过抑制弓状核中神经肽 Y 的合成和释放来调节食欲和新陈代谢, 抑制食欲以及增加能量消耗^[17]。与此相反, 肝脏中的脂联素可以激活过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α) 加快脂肪酸氧化酶基因的转录, 促进脂肪酸被转运进线粒体并氧化供能。瘦素与脂联素水平与身体成分、BMI 和体脂分布密切相关^[18]。有氧联合抗阻运动不仅改善心血管功能, 提高全身代谢、脂质代谢, 还增加骨骼肌, 提升基础代谢率与能量消耗, 有效提高受试者的瘦体重^[19], 减少脂肪组织的炎症, 提高胰岛素敏感性^[20]。其次, 更大的肌肉量需要摄取更多的葡萄糖来支撑能量消耗, 这意味着存在更多的线粒体, 增强肌肉氧化葡萄糖和游离脂肪酸等底物的能力^[21]。IL-6 与肿瘤坏死因子

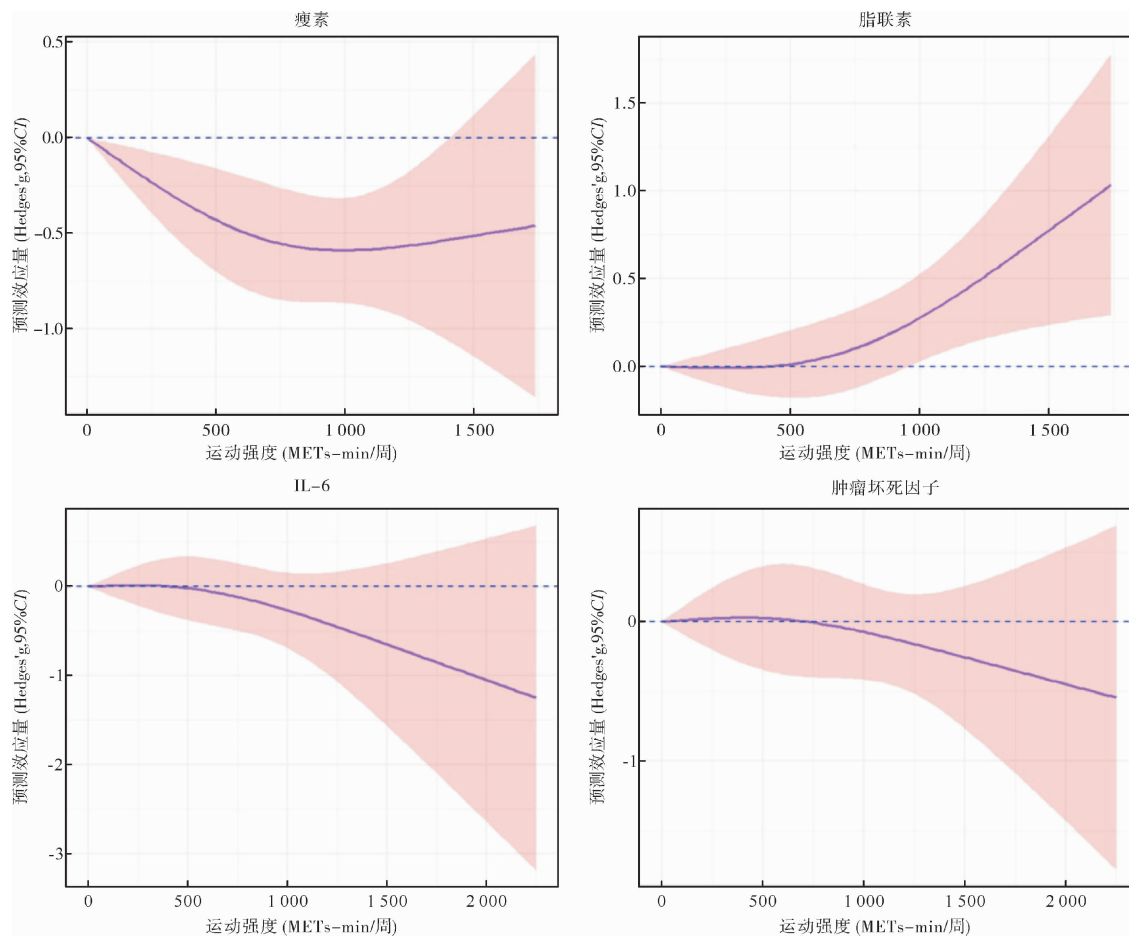


图 4 运动干预剂量与脂肪因子的剂量反应关系

Fig. 4 Dose-response relationship between exercise intervention dose and adipokines

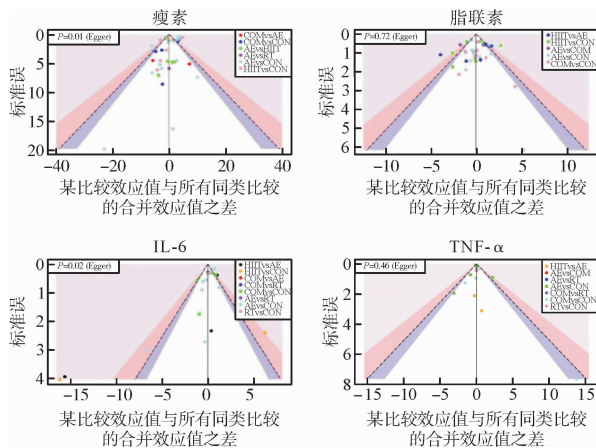
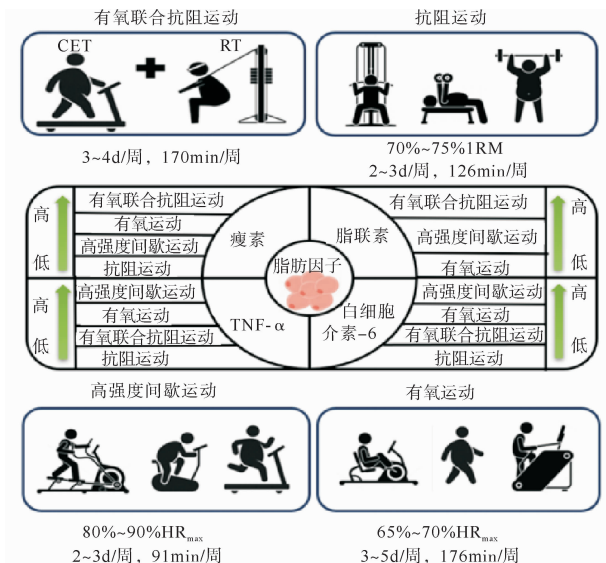


图 5 各脂肪因子的比较校正漏斗图

Fig. 5 Adjusted funnel plots for adipokines

作为两种重要的促炎因子,其含量升高会促进脂肪堆积^[22],堆积的脂肪组织会分泌大量的促炎因子,形成恶性循环。抑制促炎因子的产生可以改善肥胖症,并降低氧化应激的影响^[23]。运动训练减少促炎因子的潜在机制包括对组织炎症、抗炎细胞因子产生的影响^[24]。高强度间歇运动会提高脂肪氧化率,



注:高低表示各运动类型改善脂肪因子的有效性排序。1RM 表示只能重复一次的重量强度。HR_{max} 表示最大心率。

图 6 改善脂肪因子的最佳运动类型及运动处方

Fig. 6 Optimal exercise type and exercise prescription for improving adipokines

加强碳水化合物的氧化供能^[25],减少脂肪含量并改

善身体成分,减少单核细胞,而单核细胞是循环中促炎因子分泌的最佳来源^[26]。高强度间歇运动通常伴随着更高的心率与血压反应,会引起更长时间的过量氧耗,更有利于改善炎症状态^[27]。IL-6 在运动后会降低,而 TNF- α 水平与脂肪量的相关性更为密切^[28]。脂联素^[29]、IL-6 与 TNF- α ^[30] 的改善效果与运动强度成高度正相关,有氧运动因其强度普遍过低所以改善效果并不明显。抗阻运动单纯增加骨骼肌的效果在一定程度上不适合干预脂肪因子^[31]。

3.2 临床意义与实践指导作用 儿童和青少年促炎细胞因子的增加被认为是心脏代谢疾病风险增加的潜在致病机制^[29]。脂肪因子水平的改善有利于缓解胰岛素抵抗^[32]、代谢综合征与动脉粥样硬化^[33],瘦素与脂联素的改善可以降低血糖血脂,改善胰岛素敏感性^[34],IL-6 与 TNF- α 的改善可以降低机体炎症,调节免疫系统。脂肪因子变化的最小临床重要差异在儿童青少年中尚未统一,但在本研究结果中,HIIT 与有氧联合抗阻运动对上述指标的改善幅度均达到或超过成人脂肪因子变化的最小临床重要差异(MCID)范围,说明其干预效果具有潜在的临床价值^[35]。根据世界卫生组织^[36]及美国身体活动指南^[37]最新建议,有氧联合抗阻运动与高强度间歇运动在适宜的运动强度内具有较高的安全性,但运动干预时仍需注意健康筛查、渐进负荷、专业监督等安全性保障措施。

3.3 精确化循证运动处方与未来研究方向 《儿童青少年肥胖防控实施方案》^[38]与《儿童青少年体力活动指南》^[39]强调:“要保证每周 3h 以上的高强度身体活动,且推荐包含‘有氧+肌肉强化+骨骼强化’三类运动的混合。”结合本研究制定运动处方,有氧联合抗阻运动的推荐处方为 43~57min 强度为 65%~70%HR_{max} 的有氧运动联合强度为 70%~75%1RM 的抗阻运动,频率 3~4d/周;高强度间歇运动处方为 4~6 次 15 秒强度在 80%~90%HR_{max} 间歇 1min 的冲刺训练,2~3d/周,91min/周。见图 6。未来应尝试将各运动方案结合生活方式的改变(如热量限制、转换饮食方式、配合营养补剂等),为儿童青少年运动处方的制定提供综合全面的循证建议。以及确立儿童青少年脂肪因子 MCID 为运动处方优化和肥胖防治指南提供循证依据。

3.4 本研究的局限性 1)抗阻训练相关研究样本量有限(纳入研究仅占总量 18%);2)瘦素与 IL-6 作为结局指标可能存在一定的小样本效应和发表偏倚,需谨慎对待研究结果;3)周期和频率对运动改善瘦素脂联素无显著影响,说明周期和频率可能并非独立强效的调节因子,其效应很可能需在与运动强度、运动形式的交互中得以体现。

综上,本研究揭示了不同运动类型在改善儿童青少年脂肪因子方面的应用效果以及改善特定结局的最佳类型。高强度间歇运动与有氧联合抗阻运动在改善儿童青少年脂肪因子方面是最优运动类型以及相应运动处方。未来应深入运动与多种生活方式改变相结合的干预措施,揭示运动与儿童青少年脂肪因子之间的复杂关联,为儿童青少年肥胖防控以及健康促进提供更为坚实可靠的科学依据与精准指导。

利益冲突声明 本文不存在利益冲突

数据可用性声明 本研究未生成新的数据,本研究中所有的原始数据均来自纳入文献。

参考文献

- [1] 孙琦,李玉秀,王姮. 脂肪细胞因子与胰岛素抵抗的相关性分析[J]. 基础医学与临床, 2005, 25(9): 813-817.
Sun Q, Li YX, Wang H. The relationship between adipocytokines and insulin resistance in the patients with obesity and type 2 diabetes mellitus[J]. Basic Clin Med, 2005, 25(9): 813-817. (in Chinese)
- [2] 杜苏苏,彭璐婷,武苏,等. 肥胖儿童青少年血清脂肪因子与其代谢特征的相关性研究[J]. 中国循证儿科杂志, 2019, 14(5): 374-379.
Du SS, Peng LT, Wu S, et al. Correlation between serum adipokines and metabolic characteristics in obese children and adolescents[J]. Chin J Evid Based Pediatr, 2019, 14(5): 374-379. (in Chinese)
- [3] Bastard JP, Maachi M, Lagathu C, et al. Recent advances in the relationship between obesity, inflammation, and insulin resistance[J]. Eur Cytokine Netw, 2006, 17(1): 4-12.
- [4] Walhin JP, Richardson JD, Betts JA, et al. Exercise counteracts the effects of short-term overfeeding and reduced physical activity independent of energy imbalance in healthy young men[J]. J Physiol, 2013, 591(24): 6231-6243.
- [5] Hayashino Y, Jackson JL, Hirata T, et al. Effects of exercise on C-reactive protein, inflammatory cytokine and adipokine in patients with type 2 diabetes: A meta-analysis of randomized controlled trials[J]. Metabolism, 2014, 63(3): 431-440.
- [6] Wang S, Zhou H, Zhao C, et al. Effect of exercise training on body composition and inflammatory cytokine levels in overweight and obese individuals: A systematic review and network meta-analysis [J]. Front Immunol, 2022, 13: 921085.
- [7] Khalafi M, Symonds ME. The impact of high-intensity interval training on inflammatory markers in metabolic disorders: A meta-analysis[J]. Scand J Med Sci Sports, 2020, 30(11): 2020-2036.
- [8] Sirico F, Bianco A, D'Alicandro G, et al. Effects of physical exercise on adiponectin, leptin, and inflammatory markers in childhood obesity: Systematic review and meta-analysis[J]. Child Obes, 2018, 14(4): 207-217.
- [9] Lee J. Influences of exercise interventions on overweight and obesity in children and adolescents[J]. Public Health Nurs, 2021, 38(3): 502-516.
- [10] Hutton B, Salanti G, Caldwell DM, et al. The PRISMA extension statement for reporting of systematic reviews in-

- corporating network meta-analyses of health care interventions; Checklist and explanations[J]. *Ann Intern Med*, 2015, 162(11): 777-784.
- [11] Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, et al. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions (version 6.5) [M/OL]. Cochrane, 2024. [2026-06-23]. <https://training.cochrane.org/handbook>.
- [12] Higgins JP, Altman DG, Gøtzsche PC, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials[J]. *BMJ*, 2011, 343(7829): 1-9.
- [13] Salanti G, Del Giovane C, Chaimani A, et al. Evaluating the quality of evidence from a network meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e99682.
- [14] Green PL, Worden K. Bayesian and Markov chain Monte Carlo methods for identifying nonlinear systems in the presence of uncertainty[J]. *Phil Trans R Soc A*, 2015, 373(2051): 20140405.
- [15] Salanti G, Ades AE, Ioannidis JPA. Graphical methods and numerical summaries for presenting results from multiple-treatment meta-analysis: An overview and tutorial[J]. *J Clin Epidemiol*, 2011, 64(2): 163-171.
- [16] Mbuagbaw L, Rochwerf B, Jaeschke R, et al. Approaches to interpreting and choosing the best treatments in network meta-analyses[J]. *Syst Rev*, 2017, 6(1): 79.
- [17] Fruhwürth S, Vogel H, Schürmann A, et al. Novel insights into how overnutrition disrupts the hypothalamic actions of leptin[J]. *Front Endocrinol*, 2018, 9: 89.
- [18] Wang ZV, Scherer PE. Adiponectin, the past two decades [J]. *J Mol Cell Biol*, 2016, 8(2): 93-100.
- [19] Vargas S, Petro JL, Romance R, et al. Comparison of changes in lean body mass with a strength-versus muscle endurance-based resistance training program[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2019, 119(4): 933-940.
- [20] Larson-Meyer DE, Newcomer BR, Ravussin E, et al. Intrahepatic and intramyocellular lipids are determinants of insulin resistance in prepubertal children[J]. *Diabetologia*, 2011, 54(4): 869-875.
- [21] Joseph AM, Hood DA. Relationships between exercise, mitochondrial biogenesis and type 2 diabetes [J]. *Med Sport Sci*, 2014, 60: 48-61.
- [22] 丁玲, 张森, 姜星, 等. 运动干预对肥胖机体体内瘦素等脂肪细胞因子作用的影响[J]. *生理科学进展*, 2023, 54(2): 141-147.
- Ding L, Zhang S, Jiang X, et al. Effects of exercise interventions on roles of leptin and other adipocytokines in obesity[J]. *Progress in Physiological Sciences*, 2023, 54(2): 141-147. (in Chinese)
- [23] Virdis A, Colucci R, Bernardini N, et al. Microvascular endothelial dysfunction in human obesity: Role of TNF- α [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2019, 104(2): 341-348.
- [24] You T, Arsenis NC, Disanzo BL, et al. Effects of exercise training on chronic inflammation in obesity: Current evidence and potential mechanisms[J]. *Sports Med*, 2013, 43(4): 243-256.
- [25] 鲁鑫, 谢波. 功能性高强度间歇训练结合呼吸饮食对肥胖大学生的干预效果[J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(4): 569-573.
- Lu X, Xie B. Effect of functional high-intensity interval training combined with inhalation dietary intervention on obese college students[J]. *Chin J Sch Health*, 2021, 42(4): 569-573. (in Chinese)
- [26] Auffray C, Sieweke MH, Geissmann F. Blood monocytes: Development, heterogeneity, and relationship with dendritic cells[J]. *Annu Rev Immunol*, 2009, 27: 669-692.
- [27] Montero D, Walther G, Perez-Martin A, et al. Endothelial dysfunction, inflammation, and oxidative stress in obese children and adolescents: Markers and effect of lifestyle intervention[J]. *Obes Rev*, 2012, 13(5): 441-455.
- [28] Luo Y, Zheng SG. Hall of fame among pro-inflammatory cytokines: Interleukin-6 gene and its transcriptional regulation mechanisms[J]. *Front Immunol*, 2016, 7: 604.
- [29] 陈晓可, 历建宇, 陈超凡, 等. 不同运动类型对超重或肥胖人群炎症因子影响的网状 Meta 分析[J]. *中国循证医学杂志*, 2024, 24(5): 565-571.
- Chen XK, Li JY, Chen CF, et al. Efficacy of different exercise type on inflammatory cytokines in individuals with overweight or obesity: A network meta-analysis[J]. *Chin J Evid Based Med*, 2024, 24(5): 565-571. (in Chinese)
- [30] Petersen AMW, Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise[J]. *J Appl Physiol*, 2005, 98(4): 1154-1162.
- [31] O'Donoghue G, Blake C, Cunningham C, et al. What exercise prescription is optimal to improve body composition and cardiorespiratory fitness in adults living with obesity? A network meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 2021, 22(2): e13137.
- [32] 李玉英, 马明福, 魏雪芳, 等. 青海不同海拔地区藏族 2 型糖尿病患者血清瘦素游离脂肪酸和脂联素水平与胰岛素抵抗的关系[J]. *河北医学*, 2025, 31(8): 1326-1330.
- Li YY, Ma MF, Wei XF, et al. Relationship between serum leptin free fatty acid and adiponectin levels and insulin resistance in Tibetan patients with T2DM at different altitudes in Qinghai[J]. *Hebei Medicine*, 2025, 31(8): 1326-1330. (in Chinese)
- [33] 陆智勇, 侯静波. 脂肪因子与心血管疾病研究的进展[J]. *心血管康复医学杂志*, 2023, 32(1): 96-99.
- Lu ZY, Hou JB. Research progress of adipokines and cardiovascular diseases[J]. *Chin J Cardiovasc Rehabil Med*, 2023, 32(1): 96-99. (in Chinese)
- [34] Tsuchida A, Yamauchi T, Ito Y, et al. Insulin Foxo1 pathway regulates expression levels of adiponectin receptors and adiponectin sensitivity[J]. *J Biol Chem*, 2004, 279(29): 30817-30822.
- [35] Liang S, Li H, Shen X, et al. Increased serum adiponectin predicts improved coronary flow and clinical outcomes in patients with ST-segment elevation myocardial infarction treated by primary percutaneous coronary intervention[J]. *J Clin Lab Anal*, 2019, 33(5): e22864.
- [36] Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour[J]. *Br J Sports Med*, 2020, 54(24): 1451-1462.
- [37] Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, et al. The physical activity guidelines for Americans[J]. *JAMA*, 2018, 320(19): 2020-2028.
- [38] 国家卫生健康委办公厅, 教育部办公厅, 市场监管总局办公厅, 等. 关于印发儿童青少年肥胖防控实施方案的通知 [EB/OL]. (2020-10-16) [2025-11-19]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2020-10/24/content_5553848.htm.
- [39] Centers for Disease Control and Prevention. What counts for children and teens [EB/OL]. (2024-01-08) [2025-11-19]. <https://www.cdc.gov/physical-activity-basics/adding-children-adolescents/what-counts.html>.

收稿日期: 2025-08-18 修回日期: 2026-02-02 本文编辑: 王悦