



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260224

http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.260224

China Journal of General Surgery, 2026, 35(6):1148-1160.

· 专题研究 ·

体力活动与运动训练对腹主动脉瘤发生风险及临床结局影响的Meta分析

刘媛媛, 张元元, 王雅文, 刘玉华

(中国医科大学附属盛京医院 肿瘤中心, 辽宁 沈阳 110004)

摘要

背景与目的: 腹主动脉瘤 (AAA) 是一种常见且潜在致命的血管疾病, 目前除手术治疗外, 缺乏明确有效的非药物干预措施。体力活动和运动训练对心血管疾病具有明确获益, 但其与 AAA 发生风险及临床结局之间的关系尚缺乏系统评价。本研究通过 Meta 分析探讨体力活动与 AAA 发生风险之间的剂量-反应关系, 并评价运动训练对小 AAA 患者运动适能、疾病进展及围手术期结局的影响。

方法: 检索 PubMed、Embase 和 Cochrane Library 数据库中有关体力活动或运动训练与 AAA 关系的前瞻性队列研究及随机对照试验 (RCT), 检索时限截至 2025 年 12 月 13 日。采用稳健误差 Meta 回归 (REMR) 模型分析体力活动水平与 AAA 发生或筛查发现风险之间的剂量-反应关系; 采用随机效应模型合并 RCT 研究结果, 以标准化均数差 (SMD) 及 95% 置信区间 (CI) 评价运动训练对小 AAA 患者运动适能、生物标志物及围手术期结局的影响。

结果: 共纳入 16 项研究。剂量-反应 Meta 分析纳入 4 项前瞻性队列研究 (94 109 例受试者), 结果显示体力活动水平与 AAA 发生或筛查发现风险呈显著线性负相关 (非线性检验 $P=0.582$), 体力活动每增加 20 代谢当量-小时/周 (MET-h/周), AAA 风险降低约 14%。6 项 RCT 研究显示, 运动训练未增加 AAA 直径 (SMD=-0.03, 95% CI=-0.29~0.24, $P=0.85$), 但可显著提高患者 3 个月 (SMD=0.49, 95% CI=0.20~0.78, $P<0.001$) 和 12 个月 (SMD=0.71, 95% CI=0.47~0.96, $P<0.001$) 的 MET 水平。运动训练对血压、体质量指数及血清 MMP-9 水平的影响均无统计学意义。围手术期 Meta 分析显示, 术前运动预康复可显著缩短患者住院时间 (SMD=-0.75, 95% CI=-1.08~-0.42, $P<0.001$)。

结论: 较高水平的日常体力活动与 AAA 发生风险降低相关。对于小 AAA 患者, 长期规律运动训练具有良好的短期安全性, 可显著改善运动适能而不增加瘤体扩张风险; 对于拟行手术治疗的 AAA 患者, 术前预康复运动有助于促进术后恢复并缩短住院时间。

关键词

主动脉瘤, 腹; 体力活动; 运动训练; Meta 分析

中图分类号: R654.3

Effects of physical activity and exercise training on the risk of abdominal aortic aneurysm and clinical outcomes: a Meta-analysis

LIU Yuanyuan, ZHANG Yuanyuan, WANG Yawen, LIU Yuhua

(Department of Oncology, Shengjing Hospital of China Medical University, Shenyang 110004, China)

收稿日期: 2026-04-20; 修订日期: 2026-06-20。

作者简介: 刘媛媛, 中国医科大学附属盛京医院护师, 主要从事普通外科疾病运动干预治疗方面的研究。

通信作者: 刘玉华, Email: lyh20152020@sj-hospital.org

Abstract

Background and Aims: Abdominal aortic aneurysm (AAA) is a common vascular disorder associated with substantial morbidity and mortality. Although physical activity and exercise training have well-established benefits in cardiovascular diseases, their associations with AAA risk and clinical outcomes remain incompletely understood. This study aimed to investigate the dose-response relationship between physical activity and AAA risk and to evaluate the effects of exercise training on exercise capacity, aneurysm progression, and perioperative outcomes in patients with AAA.

Methods: PubMed, Embase, and the Cochrane Library were searched for prospective cohort studies and randomized controlled trials (RCTs) investigating physical activity or exercise interventions in AAA up to December 13, 2025. Robust error Meta-regression (REMR) was used to assess the dose-response relationship between physical activity and AAA risk. Random-effects meta-analysis was performed for RCTs, and pooled effects were expressed as standardized mean differences (SMD) with 95% confidence intervals (CI).

Results: Sixteen studies were included. Four prospective cohort studies involving 94 109 participants were eligible for dose-response analysis. Physical activity was linearly associated with a lower risk of AAA occurrence or screening detection (P for non-linearity=0.582), with a 14% reduction in risk for every 20 metabolic equivalent of task (MET) -hour/week increase in physical activity. Six RCTs demonstrated that exercise training did not increase aneurysm diameter ($SMD=-0.03$, 95% $CI=-0.29-0.24$, $P=0.85$), but significantly improved MET levels at both 3 months ($SMD=0.49$, 95% $CI=0.20-0.78$, $P<0.001$) and 12 months ($SMD=0.71$, 95% $CI=0.47-0.96$, $P<0.001$). No significant effects were observed on blood pressure, BMI, or serum MMP-9 levels. In perioperative patients, preoperative exercise-based prehabilitation significantly reduced the length of hospital stay ($SMD=-0.75$, 95% $CI=-1.08- -0.42$, $P<0.001$).

Conclusion: Higher levels of habitual physical activity are associated with a lower risk of AAA. In patients with small AAA, long-term exercise training appears safe and improves exercise capacity without accelerating aneurysm growth. In patients undergoing AAA repair, preoperative exercise-based prehabilitation may facilitate postoperative recovery and shorten the hospital stay.

Key words

Aortic Aneurysm, Abdominal; Physical Exertion; Exercise Training; Meta-analysis

CLC number: R654.3

腹主动脉瘤 (abdominal aortic aneurysm, AAA) 的诊断标准通常定义为: 腹主动脉出现异常扩张, 其直径超过正常平均直径的 50%, 或主动脉总直径 >3 cm^[1]。由于大多数 AAA 患者并无明显临床症状, 且往往在影像学检查或临床体检中被偶然发现^[2], 因此该病也被称为“隐形杀手”。研究^[3]估计, AAA 的年增长率随瘤体直径的增加而显著升高。此外, AAA 的破裂风险随瘤体直径的增加而升高, 特别是当直径达到或超过 5.5 cm 时, 风险显著增加^[4]。目前, 65 岁男性群体的患病率约为 1.5%, 60 岁及以上女性群体的患病率约为 0.7%^[5-6]。值得注意的是, 直径在 2.5~2.9 cm 之间的“亚动脉瘤样”主动脉扩张同样需要引起重视, 因

为其中约 75% 的病例会在 5 年内进展为 AAA^[7]。AAA 作为血管健康领域的重大挑战, 其特征是腹主动脉的局限性扩张。由于小 AAA 的管理具有较高的临床复杂性, 亟须创新性手段来改善患者预后。在这一背景下, 运动锻炼作为一种潜在的干预手段, 正日益受到学术界的关注。

对于需要外科手术干预的 AAA 患者, 目前主要的治疗手段包括传统的开放手术修复 (open surgical repair, OSR) 和腹主动脉瘤腔内修复术 (endovascular aortic repair, EVAR)^[8]。AAA 修复术后的并发症包括心血管并发症、呼吸系统并发症、肢体缺血及肾衰竭。与接受 EVAR 的患者相比, 接受 OSR 的患者发生上述并发症的风险更高^[9]。临床

上如何选择术式通常需遵循个体化原则。通常情况下, EVAR更倾向于推荐给高龄(如80岁以上)患者或伴有冠心病等其他基础疾病的患者。虽然体力活动对心血管健康的益处已得到公认, 但其对AAA患者的具体影响仍处于探索阶段。尽管OSR和EVAR等手术治疗至关重要, 但运动锻炼在增强传统治疗效果方面的协同作用尚未得到充分阐明。体力活动干预是指经过科学规划和调节的锻炼方案, 旨在改善、维持或减缓身体能力、生理机能及整体健康水平的下降。研究^[10]表明, 在无需手术的心血管疾病患者中, 运动有助于改善健康状况并降低稳定性缺血性心脏病风险。体力活动能在确保患者安全的前提下, 在一定程度上减少并发症的发生, 缩短住院时间, 甚至延缓病情进展。因此, 通过运动干预提高患者生活质量、改善身体机能并降低治疗成本, 具有重要的临床意义。基于此, 迫切需要针对体力活动与AAA患者之间的关联进行Meta分析。本研究首先通过队列研究的剂量-反应Meta分析(基于问卷调查), 探讨运动强度与AAA发生风险的关系; 同时, 对小AAA患者运动锻炼的随机对照试验(randomized controlled trial, RCT)进行Meta分析; 此外, 本研究还探讨了体力活动与AAA围手术期临床结局之间的相关性。

1 资料与方法

本研究严格遵循《Cochrane干预措施系统评价手册》的建议, 并按照PRISMA报告规范进行编写, 以确保论文发表质量^[11]。

1.1 检索策略

本研究检索了Cochrane对照试验标准数据库(CENTRAL)(2025年12月第12期)、Embase(检索时限为1974年至2025年12月13日)以及PubMed数据库(检索时限为1974年至2025年12月13日)。检索过程按照人群、干预措施、对照组、结局指标、研究类型(Population, Intervention, Comparison, Outcomes and Study, PICOS)原则, 并对纳入文献的参考文献进行了手工检索, 以最大限度减少遗漏。检索截止日期为2025年12月13日。在PubMed数据库中进行主题词检索时, AAA的主题词为“abdominal aortic aneurysms”, 运动锻炼的主题词为“physical therapy modalities”和“exercise”。此外,

笔者还查阅了相关系统评价的参考文献。检索过程不设语种、出版状态或日期的限制。

1.2 研究筛选及纳排标准

纳入针对AAA发生及筛查风险的前瞻性队列研究, 这些研究多通过问卷对参与者进行持续随访, 并报告了日常体力活动水平、AAA发病或筛查发现情况以及多因素校正后的相对危险度(relative risk, RR)。针对运动训练的安全性和对AAA患者运动能力的影响, 纳入标准为: 非手术管理的AAA或计划择期手术的AAA; 主动脉直径>30 mm; 研究类型为RCT; 试验组接受运动锻炼干预; 对照组接受常规护理且不进行运动干预; 结局指标包括安全性指标和运动能力。排除标准包括: 年龄超过85岁; 无法进行体力活动者; 试验组涉及其他AAA疾病(如胸主动脉瘤等); 个案报告、动物实验、Meta分析及综述类文章。

1.3 剂量-反应暴露数据的提取与标准化

在剂量-反应分析部分, 鉴于不同研究对日常体力活动水平的报告方式和度量单位存在多维异质性, 本研究依据流行病学剂量-反应Meta分析的方法学规范, 建立标准化的定量估算与单位换算方案, 统一将暴露剂量标准化为代谢当量(metabolic equivalent of task, MET)-小时/周(MET-h/周)。对于原始数据未提供确切暴露中位数的组别, 闭合区间统一采用区间中点值(midpoint)进行赋值; 最低参照组(如0 min/周)统一赋值为0; 高开放性区间(如>50 MET-h/周)依据惯例采用其下限的1.2倍作为保守替代值。在其中1项研究^[12]中, 运动量的评估单位为每周运动小时数, 采用中等强度(3~5.9 MET)和高强度(6~12 MET)的范围值进行估算。最终确定以6.725 MET作为参与者的平均运动强度, 并将其与各亚组的运动持续时间相乘, 转化为“MET-h/周”。在另1项研究^[13]中, 作者以每天运动分钟数为评估单位, 根据文献问卷中提到的运动类型估算了参与者的MET值, 并取5.65 MET作为平均运动强度。通过上述严格的定量转化, 最终实现了跨队列日常体力活动暴露剂量的无缝合并。基于提取的数据, 采用了稳健误差Meta回归(robust-error Meta-regression, REMR)方法^[14], 对体力活动与AAA发病风险之间的关系进行了剂量-反应分析。针对纳入的RCT数据, 本研究系统分析了运动干预对小AAA患者的影响。

1.4 统计学处理

二分类变量采用风险比 (RR) 及其 95% 置信区间 (CI) 进行分析。连续变量以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 进行汇总, 并转化为绝对变化值。由于部分研究报告的是中位数 (四分位间距或范围) [M (IQR /范围)], 各研究提供的汇总统计量不一致, 难以直接进行 Meta 分析, 本研究严格采用了香港浸会大学数学系童铁军教授团队所提出的样本均值与标准差最优估计方法 (optimal estimation method)。将中位数和极差转化为均数^[15]和标准差^[16], 通过该团队提供的官方 median2mean 在线数理换算矩阵, 精准地将中位数结合上下限或四分位距转换为 Meta 分析所需的均值和标准差, 最大程度上保留了原始连续变量的统计学信息。使用 Stata 16.0 软件进行 Meta 分析。对于连续变量, 采用 Hedges 法计算标准化均数差 (standardized mean difference, SMD)。所有结局指标均通过 Egger 检验分析发表偏倚。对于剂量-反应分析, 绘制漏斗图, 并进行 Begg 检验和敏感度分析, 以评估数据来源的稳定性。针对小 AAA 病例的分析结果, 使用 Review Manager 5.4 软件根据 Cochrane 偏倚风险 (Risk of Bias, RoB) 评估工具对纳入文献进行质量评估。

2 结果

2.1 文献检索结果

通过对 PubMed 和 Embase 数据库的系统检索, 共获得 470 篇文献 (PubMed 122 篇, Embase 272 篇和 Cochrane 76 篇)。剔除 194 篇重复文献后, 经阅读标题和摘要筛选出 53 篇相关文献。在全文通读阶段, 排除了 6 篇系统评价、28 篇数据缺失或仅报告单一特殊指标的文献以及 3 篇重复研究, 最终纳入 16 篇文献。根据研究设计与疾病管理阶段, 将文献分为互不重叠的三部分: (1) 前瞻性风险特征统计 (4 篇); (2) 小 AAA 患者保守干预研究 (6 篇); (3) 围手术期 AAA 患者预康复研究 (6 篇)。文献筛选流程见图 1。

2.2 日常体力活动水平与 AAA 发生或筛查发现风险的剂量-反应分析

剂量-反应分析共纳入 4 项研究^[12-13, 17-18], 涉及 94 109 例受试者。纳入剂量-反应 Meta 分析的 4 项研究特征见表 1。这些研究大多通过问卷形式

长期随访受试者的生活状态和健康指标, 报告了运动水平、AAA 患病人数, 以及经性别、年龄、吸烟、心脏病、体质量指数 (body mass index, BMI) 和饮酒等因素校正后的多因素 RR 值。通过对比线性和非线性剂量-反应分析结果, 其非线性检验提示该模型无明显的非线性特征 ($P=0.582$), 表明日常体力活动水平与 AAA 风险之间存在显著的线性负相关关系, 较高的体力活动水平与 AAA 风险降低相关, 随着体力活动强度的增加, AAA 的发生或筛查发现风险逐渐下降 (图 2A-B)。数据表明, 运动强度每增加 20 MET-h/周, AAA 的发生或发现风险约降低 14% ($RR=0.86$, 95% $CI=0.76\sim 0.97$)。通过逐一剔除文献进行敏感度分析 (图 2C), 合并后的效应量均在 95% CI 范围内, 说明研究结果相对稳定。虽然 Nordkvist 等^[17]和 Wong 等^[18]的研究较偏离中心线, 对整体结果影响较大, 但仍处于 95% CI 内, 结果较为可靠。漏斗图显示数据点分布较分散, 提示可能存在异质性或发表偏倚 (图 2D)。进一步的 Egger 检验和 Begg 检验显示无明显的发表偏倚证据 (均 $P>0.05$) (图 2E-F); 但由于该部分仅纳入 4 项前瞻性队列研究, 统计学检验效能较低。

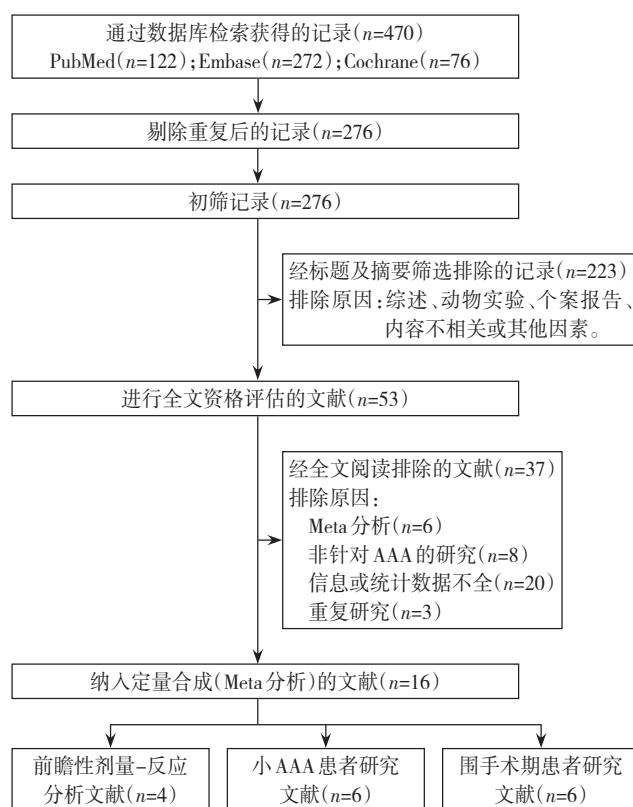


图1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow chart of the literature screening process

表 1 纳入剂量-反应 Meta 分析的 4 项研究基本特征

Table 1 Characteristics of the four studies included in the dose-response Meta-analysis

作者	发表年份	国家	受试者人数(n)	运动强度评估方法	比较组	RR(95% CI)	校正混杂因素
Oyenuga, 等 ^[12]	2019	美国	14 375	采用美国心脏协会推荐的“简单生活 7 项”调查问卷	0 min/周	1(参照)	年龄、性别、种族
					1~149 MET/周	0.75(0.59~0.94)	
					≥150 MET/周	0.78(0.64~0.95)	
Nordkvist, 等 ^[17]	2018	瑞典	26 133	闲暇体力活动水平以 MET-h/周表示; 基于 17 种不同活动的强度和时长进行计算, 并将结果分为 5 组	0~7.5 MET-h/周	1(参照)	年龄、性别
					7.5~15 MET-h/周	0.72(0.35~1.04)	
					15~25 MET-h/周	0.50(0.35~0.72)	
					25~50 MET-h/周	0.54(0.39~0.74)	
Stackelberg, 等 ^[13]	2017	瑞典	14 249	通过验证的调查问卷调查与日常通勤相关的体力活动(即步行或骑行的时长)	几乎不运动	1(参照)	年龄、受教育程度、吸烟状况、吸烟包年数、BMI、腰围、健康饮食评分、饮酒情况、糖尿病、心血管疾病、高血压、高胆固醇血症
					<20 min/d	0.83(0.53~1.32)	
					20~40 min/d	0.72(0.45~1.16)	
Wong, 等 ^[18]	2007	美国	39 352	体力活动水平基于自报的每周多种运动及活动的时长进行评估。计算 MET 后将其分为 5 组	≥40 min/d	0.59(0.36~0.97)	年龄、吸烟情况、高血压、糖尿病、高胆固醇血症、BMI
					0.1~5.9 MET/周	1(参照)	
					6.0~13.7 MET/周	0.98(0.74~1.31)	
					13.8~24.2 MET/周	1.15(0.85~1.56)	
					24.3~40.8 MET/周	0.95(0.67~1.35)	
					≥40.9 MET/周	1.02(0.72~1.46)	

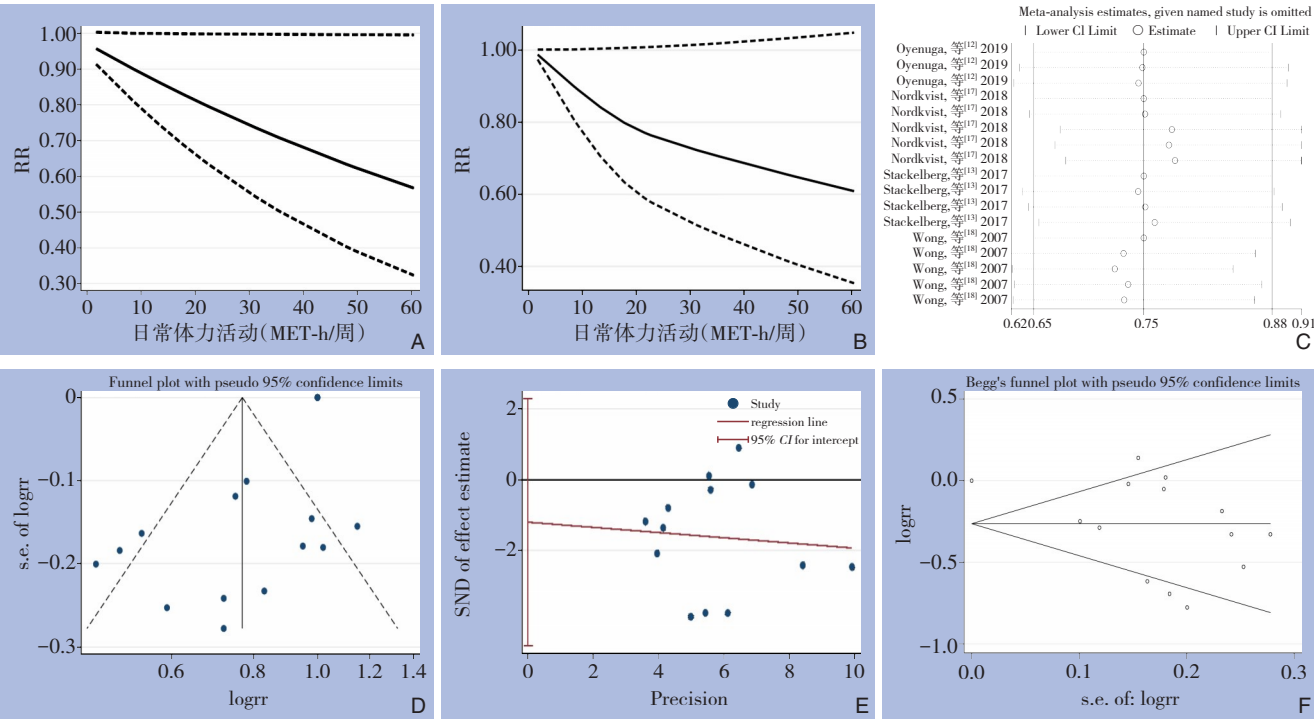


图 2 日常体力活动水平与 AAA 发生风险剂量-反应 Meta 分析 A: 体力活动与 AAA 关系的线性回归图; B: 体力活动与 AAA 关系的非线性回归图; C: 敏感度分析图; D: 漏斗图; E: Egger 检验图; F: Begg 检验图

Figure 2 Dose-response Meta-analysis of physical activity and risk of AAA A: Linear dose-response model; B: Nonlinear dose-response model; C: Sensitivity analysis; D: Funnel plot; E: Egger's test; F: Begg's test

2.3 基于 RCT 研究的运动锻炼对小 AAA 患者影响的 Meta 分析

针对小 AAA 患者, 本研究纳入了 6 项 RCT^[19-24], 并采用 Hedges 法和随机效应模型对干预组运动后

各项指标的变化差异进行了 Meta 分析。本研究利用 RoB 评估工具对最终纳入的 6 项 RCT 进行了系统性质量评价。结果显示, 纳入文献的方法学质量整体处于中上水平。在选择偏倚方面, 多数研究

明确报告了计算机随机数字表或随机系统,展现出良好的序列产生与分配隐藏规范;在实施偏倚方面,受限于运动医学临床试验的固有客观限制,无法实现对受试者和干预实施者的盲法,故该维度均判定为不确定风险;在随访与报告偏倚方面,各原始研究的结局数据高度完整,失访与退出率均控制在安全阈值内,且未发现选择性报告结局

的迹象,失访偏倚及报告偏倚均表现为低风险。总体而言,纳入的研究质量符合Meta分析的合并准则。纳入研究的信息见表2。提取的结局指标包括:C-反应蛋白(CRP)、总胆固醇(TC)、基质金属蛋白酶9(MMP-9)、血糖、BMI、MET、通气阈(VT)、最大摄氧量(VO_{2max})、AAA直径、心率、血压及呼吸交换率(RER)。

表2 纳入的6项运动干预对小AAA影响的RCT研究

Table 2 Characteristics of the six RCTs evaluating exercise interventions in patients with small AAA

作者(发表年份)	国家	纳入人数		年龄 [岁, $\bar{x} \pm s/M(IQR)$ 范围]		男性(%)		白种人(%)	
		运动组	对照组	运动组	对照组	运动组	对照组	运动组	对照组
Lima, 等 ^[19] (2018)	巴西	33	32	72.8±6.4	71.8±7.6	—	—	84.8	75
Myers, 等 ^[20] (2010)	美国	26	31	73.1±6	70.4±9	92	94	96	93
Myers, 等 ^[21] (2014)	美国	72	68	71.8±7	71.3±8	92	93	85	74
Tew, 等 ^[22] (2012)	英国	11	14	71±8	74±6	91	79	—	—
Niebauer, 等 ^[23] (2021)	奥地利	42	54	73(58~87)	74(53~86)	90	91	88	80
Kothmann, 等 ^[24] (2009)	英国	17	8	69.5(61~79)	69.4(63~74)	76	88	—	—

表2 纳入的6项运动干预对小AAA影响的RCT研究(续)

Table 2 Characteristics of the six RCTs evaluating exercise interventions in patients with small AAA (continued)

作者(发表年份)	国家	干预方式	测评方法	干预时间
Lima, 等 ^[19] (2018)	巴西	VAPAHCS 方案:有氧运动(跑步机、功率车等) 45 min+阻力训练 10 min;3次/周;目标能耗 $\geq 1\,000$ kcal/周	跑步机症状限制性心肺运动试验(CPET)	3个月
Myers, 等 ^[20] (2010)	美国	VAPAHCS 方案:有氧运动 45 min+阻力训练 10 min;3次/周;目标能耗 2 000 kcal/周(约每天 1 h 中等强度运动)	采用 CosMed Quark CPET 代谢系统进行心肺运动试验	12个月
Myers, 等 ^[21] (2014)	美国	VAPAHCS 方案:有氧运动 45 min+阻力训练 10 min;3次/周;目标能耗 1 000~2 000 kcal/周	采用 CosMed Quark CPET 代谢系统进行心肺运动试验	3、12个月
Tew, 等 ^[22] (2012)	英国	有氧训练:跑步机或功率自行车运动 35~45 min;3次/周,持续 12 周;强度设定为 VT 水平	采用便携式乳酸分析仪检测血乳酸水平;运动生理学家测定 VT 及气体分析	3个月
Niebauer, 等 ^[23] (2021)	奥地利	VAPAHCS 方案:有氧运动 45 min+阻力训练 10 min;3次/周;强度从 60%心率储备逐渐增至 80%;目标能耗 $\geq 1\,000$ kcal/周	跑步机症状限制性运动试验(递增方案);根据峰值速度估算 MET	12个月
Kothmann, 等 ^[24] (2009)	英国	功率自行车方案:踏板速度保持在 60~80 rpm,直至 RER 达到或超过 1.10	采用 MedGraphics Ultima 系统进行 CPET 检测;在 Lode Corival 功率计上测定无氧阈	7周

2.3.1 瘤体直径、BMI、血压及心率 Meta 分析显示,与对照组相比运动干预并未导致 AAA 直径增加($SMD=-0.03$, 95% $CI=-0.29\sim 0.24$, $P=0.85$) (图 3A)。运动干预并未明显降低患者 BMI ($SMD=-0.06$, 95% $CI=-0.35\sim 0.23$, $P=0.69$) (图 3B)。经过 1 年的运动干预,两组间收缩压(systolic blood pressure, SBP)与舒张压(diastolic blood pressure, DBP)的差异均无统计学意义($SMD=0.17$, 95% $CI=-0.34\sim$

0.68 , $P=0.51$; $SMD=-0.16$, 95% $CI=-0.45\sim 0.14$, $P=0.29$) (图 3C-D)。DBP 与体力活动的森林图异质性检验显示研究间无异质性($P=0.52$, $I^2=0.00\%$), Egger 检验结果未发现明显的偏倚提示($P=0.674$)。尽管 3 个月和 12 个月时的增量运动最大心率有所改善,但差异均无统计学意义($SMD=0.15$, 95% $CI=-0.34\sim 0.64$, $P=0.54$; $SMD=-0.11$, 95% $CI=-0.39\sim 0.17$, $P=0.46$) (图 3E-F)。

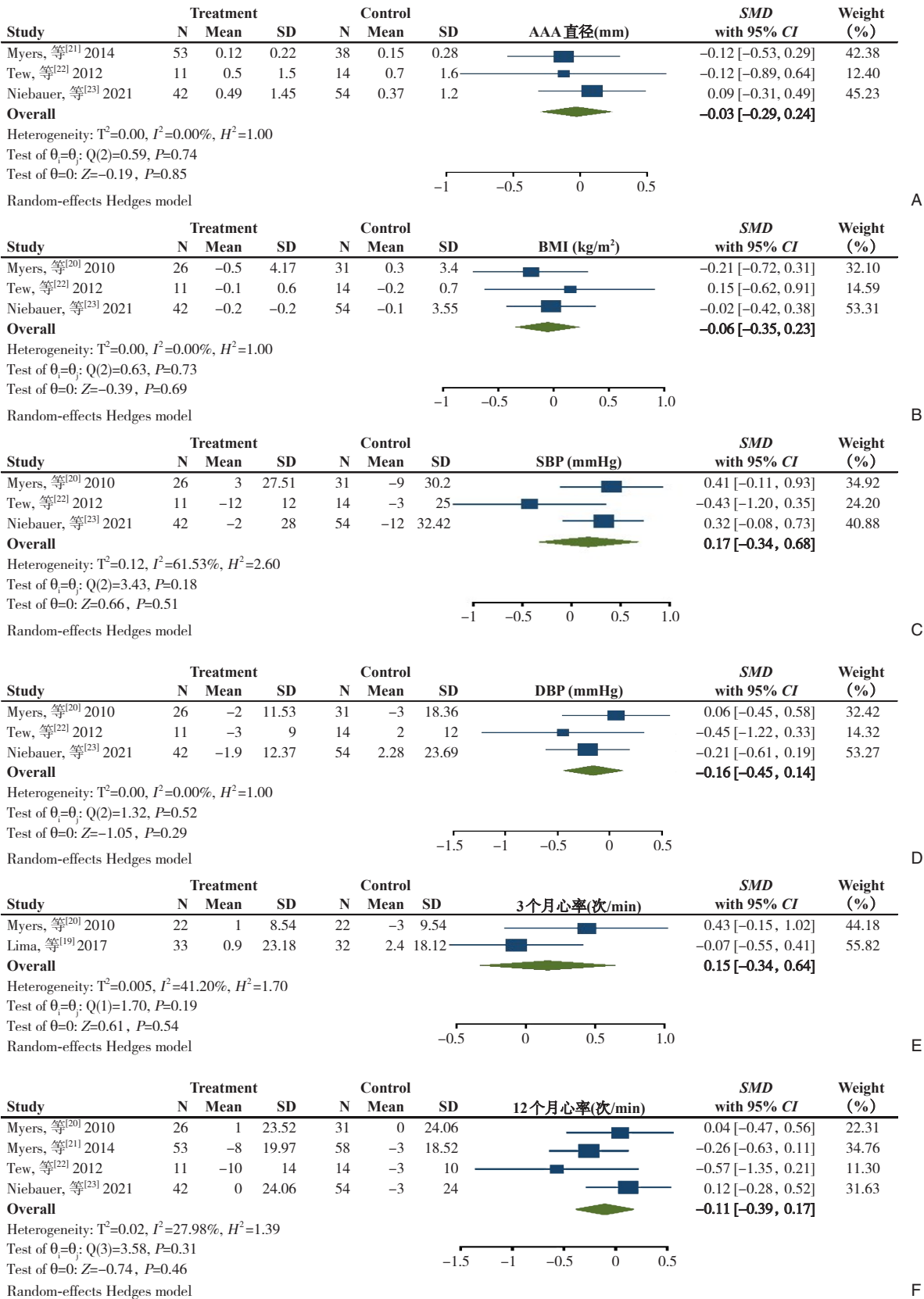


图3 运动干预对小AAA患者体格指标影响的Meta分析 A: 体力活动与AAA直径关系的森林图; B: 体力活动与BMI关系的森林图; C: 体力活动与SBP关系的森林图; D: 体力活动与DBP关系的森林图; E: 体力活动与3个月心率关系的森林图; F: 体力活动与12个月心率关系的森林图

Figure 3 Meta-analysis of the effects of exercise intervention on anthropometric and hemodynamic outcomes in patients with small AAA A: Forest plot of aneurysm diameter; B: Forest plot of BMI; C: Forest plot of SBP; D: Forest plot of DBP; E: Forest plot of heart rate at 3 months; F: Forest plot of heart rate at 12 months

2.3.2 VO_{2max}、RER 及 MET 运动组在干预1年后VO_{2max}有增加趋势,但与对照组差异无统计学意义($SMD=0.24$, 95% $CI=-0.02\sim0.51$, $P=0.07$) (图4A),森林图异质性结果可靠($P=0.57$, $I^2=0.00\%$); Egger 检验未提示统计学发表偏倚($P=0.3043$)。2项试验^[19, 21]评估了峰值RER (干预组86例,对照组90例),结果显示,运动干预未能明显提高AAA患者的RER ($SMD=1.28$, 95% $CI=-0.58\sim3.14$,

$P=0.18$) (图4B)。运动组在干预3个月后的MET明显增加($SMD=0.49$, 95% $CI=0.20\sim0.78$, $P=0.00$) (图4C),12个月后的MET结果显示出更显著的改善($SMD=0.71$, 95% $CI=0.47\sim0.96$, $P=0.00$) (图4D)。异质性检验及 Egger 检验均表明结果相对稳定,虽然统计学偏倚检验未见异常,但鉴于纳入研究数较少,其检验效能存在固有的局限性。

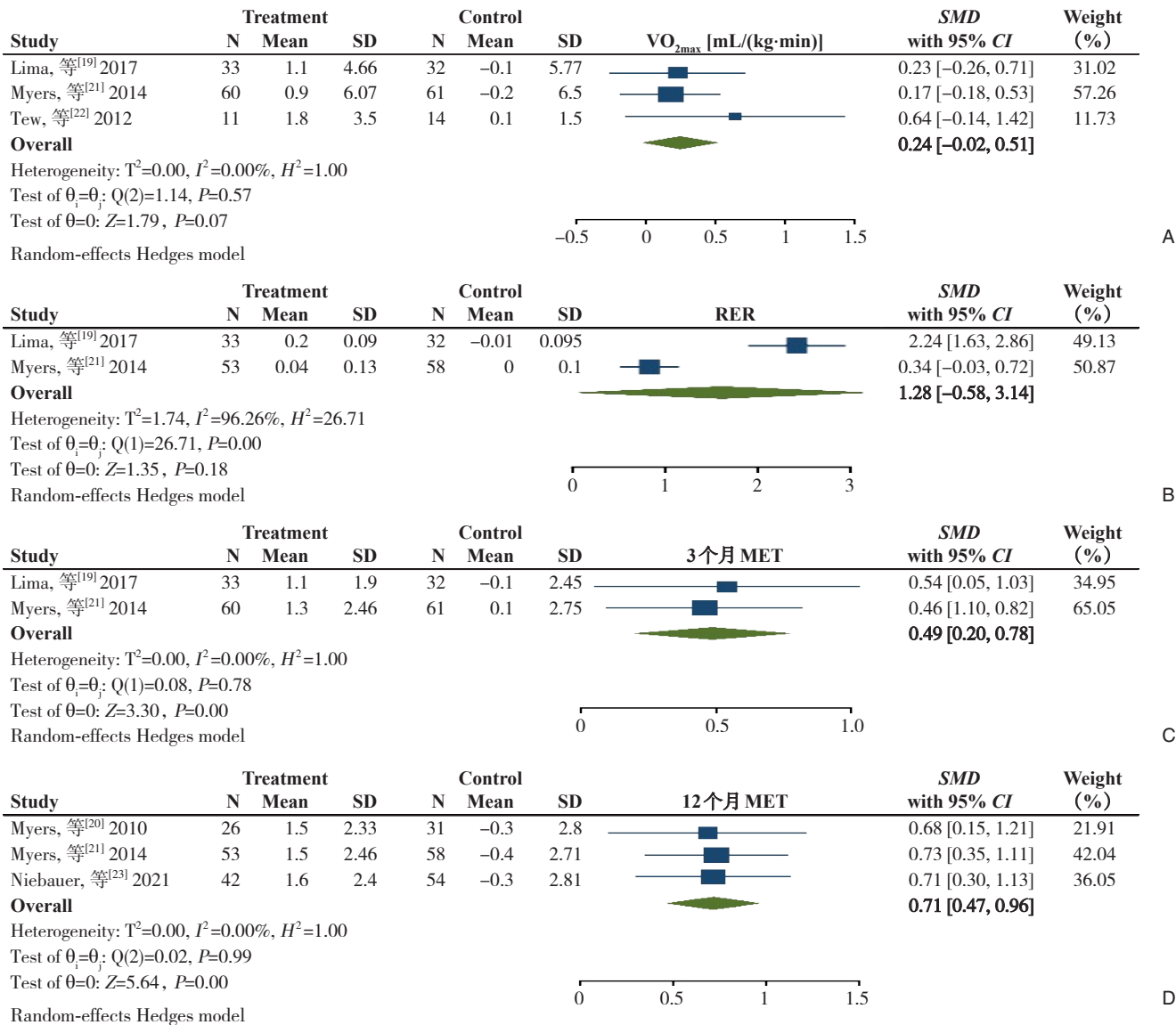


图4 运动干预对小AAA患者运动适能指标影响的Meta分析 A: 体力活动与VO_{2max}数据的森林图; B: 体力活动与RER的森林图; C: 体力活动与3个月MET数据的森林图; D: 体力活动与12个月MET数据的森林图

Figure 4 Meta-analysis of the effects of exercise intervention on exercise capacity in patients with small AAA A: Forest plot of VO_{2max}; B: Forest plot of RER; C: Forest plot of METs at 3 months; D: Forest plot of METs at 12 months

2.3.3 血清生物标志物水平 2项试验^[20-21]评估了TC, 分析结果显示运动干预未明显改变AAA患者的TC水平 ($SMD=1.94$, 95% $CI=-2.34\sim6.2$, $P=$

0.374) (图5A), 且研究间存在高度异质性 ($I^2=97.01\%$)。运动组干预1年后的血清MMP-9水平有下降趋势, 但差异无统计学意义 ($SMD=-0.19$,

95% $CI=-0.49\sim0.10$, $P=0.19$) (图 5B), 该结果异质性极低 ($I^2=0.11\%$), Egger 检验未提示明显的偏倚风险 ($P=0.725$)。由于仅有 1 项研究^[20]报告了 CRP 和血糖水平, 因此进行描述性分析而未实施 Meta 分析。根据 Myers 等^[20]的研究, 运动组的 CRP 水平

明显降低 ($SMD=-0.61$, 95% $CI=-1.13\sim-0.08$, $P=0.02$) (图 5C), 血糖水平有所降低, 但差异无统计学意义 ($SMD=-0.45$, 95% $CI=-0.97\sim0.07$, $P=0.09$) (图 5D)。

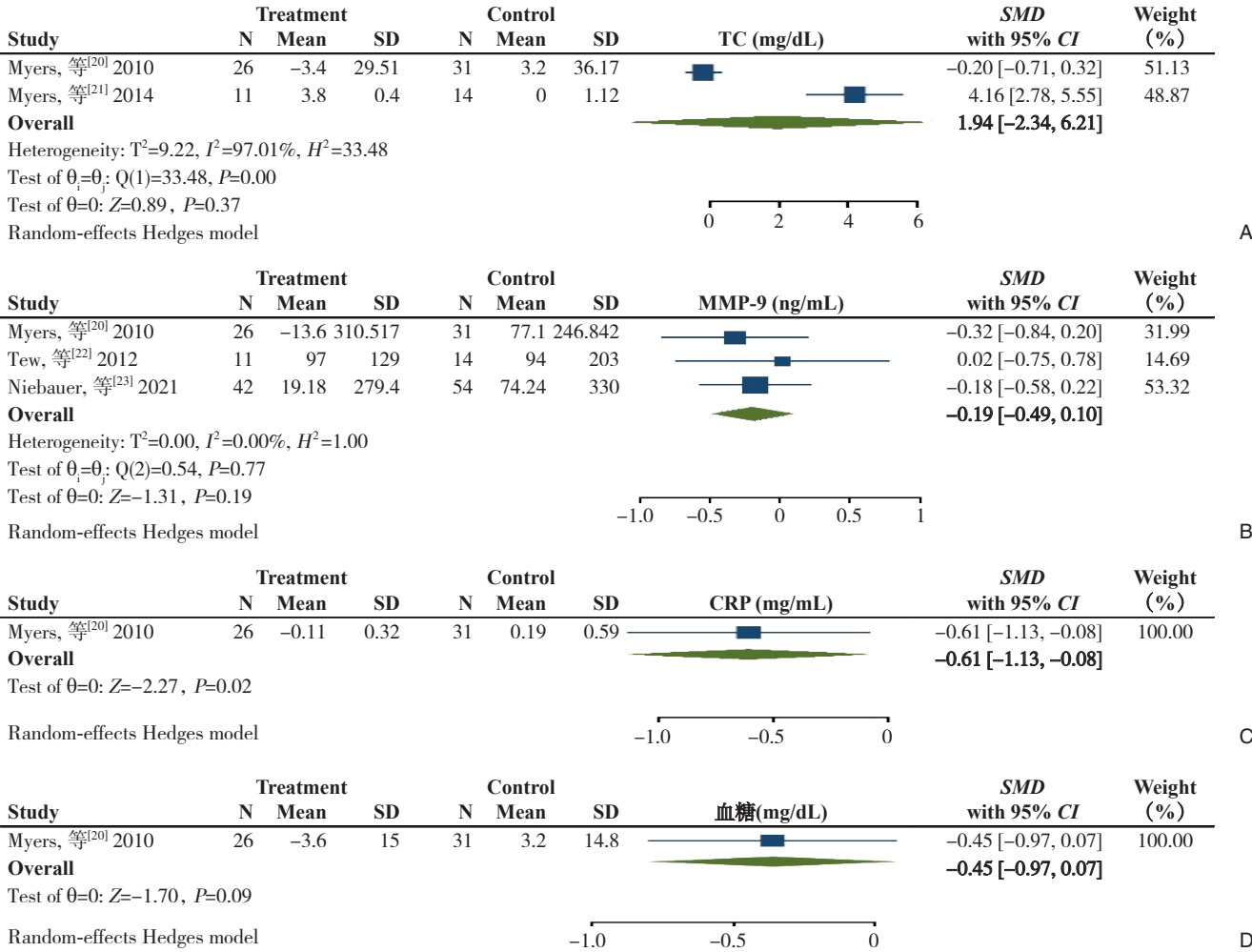


图 5 运动干预对小 AAA 患者血清生物标志物影响的 Meta 分析 A: 体力活动与 TC 关系的森林图; B: 体力活动与 MMP-9 关系的森林图; C: 体力活动与 CRP 关系的森林图; D: 体力活动与血糖关系的森林图

Figure 5 Meta-analysis of the effects of exercise intervention on serum biomarkers in patients with small AAA A: Forest plot of TC; B: Forest plot of MMP-9; C: Forest plot of CRP; D: Forest plot of blood glucose

2.4 运动干预对 AAA 患者围手术期影响的 Meta 分析

大多数围手术期 AAA 文献采用不同强度的运动作为术前干预, 本研究对来自 6 项研究^[25-30]的多个结局指标进行分析, 包括术后并发症、病死率、术中出血量、治疗成本等。在这些指标中, 仅有住院时间具有统计学意义。其他指标由于数据不

全或单位无法转化而未纳入分析。结果显示, 运动组的住院时间显著缩短 ($SMD=-0.75$, 95% $CI=-1.08\sim-0.42$, $P=0.00$) (图 6)。这表明接受运动干预的患者术后恢复更快, 身体机能优于对照组。异质性检验显示无明显异质性 ($P=0.17$, $I^2=31.25\%$)。Egger 检验结果提示存在一定的发表偏倚风险 ($P=0.075$)。

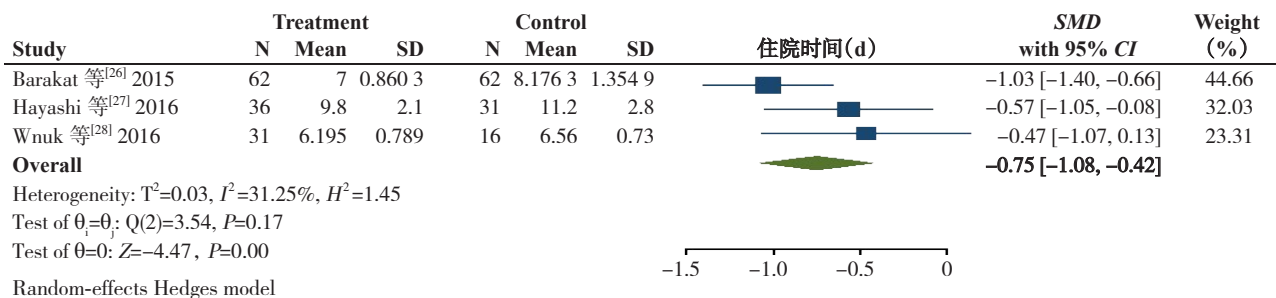


图 6 运动干预与住院时间关系的森林图

Figure 6 Forest plot of the relationship between exercise intervention and hospital length of stay

3 讨 论

现有研究已阐明主动脉血流动力学与体力活动之间的内在联系^[31]。此外,针对 AAA 患者下肢活动的血流动力学也已得到详细研究^[32-33]。然而,体力活动水平与疾病进展之间的关联尚未得到科学的系统总结。由于确诊 AAA 后缺乏立竿见影的有效治疗手段,患者在意识到自己患有这种可能随时危及生命的疾病后,极易产生严重的焦虑及其他心理问题^[34-35]。本研究结果进一步证实,活动水平与疾病风险之间的关系不仅可为创新疗法的开发提供指导,还能显著改善小 AAA 患者的健康状况。本 Meta 分析根据时间维度将 AAA 患者分为三个阶段,全过程追踪了运动训练在 AAA 患者中的安全性与有效性。

首先,基于普通人群的问卷调查数据,本研究对不同强度的日常体力活动与 AAA 发生及筛查风险进行了剂量-反应分析。结果显示,体力活动水平与 AAA 风险之间存在线性负相关关系:较高的体力活动水平与 AAA 风险降低相关,且风险随日常体力活动强度的增加而递减。笔者发现,运动强度每增加 20 MET-h/周,AAA 的发生或发现风险约降低 14%。Manson 等^[36]在 2002 年对 73 743 例女性患者进行的调查显示,在平均 3.2 年的随访中,年龄校正后的冠心病相对风险随 MET 水平的提高而显著下降 ($P<0.001$)。另 1 项纳入 6 213 名男性成年人的研究^[37]也表明,每周增加 1 000 kcal 的运动量可使病死率降低 20%。这 2 项研究结论与本研究的剂量-反应分析结果高度吻合。针对小 AAA 患者,基于 6 项 RCT 的 Meta 分析显示,体力活动能显著改善患者的健康状况和耐力。这主要体现在 MET 的显著提升,虽然 DBP 和血清 MMP-9 水平在数值上有所降低,但差异均无统计学意义。

Yamamoto 等^[38]在 2015 年的 1 项 Meta 分析中指出,运动可使中老年冠心病患者的峰值 VO_{2max} 分别提高 0.79 mL/(kg·min) 和 0.70 mL/(kg·min)。 VO_{2max} 是衡量患者心肺功能的核心指标,也是运动科学中最常用的测量手段之一,可直观反映个体的耐力水平。低水平的 VO_{2max} 已被确定为心血管死亡的独立危险因素。对于符合手术条件的患者,手术过程会引发全身促炎反应,从而增加氧耗需求^[26]。运动通过增强组织氧输送能力来改善心肺健康,其核心与抗炎机制密切相关^[39]。早前研究表明,心肺适能水平降低会导致乳酸产量增加,而术后代谢乳酸能力的下降可能导致并发症。因此,保持最佳的身体机能有助于患者抵御与手术相关的巨大代谢和心肺应激^[40-42]。

MET 的提升是身体机能增强的直接体现。研究显示,干预组在运动 3 个月 ($SMD=0.49$, $P<0.001$) 和 12 个月 ($SMD=0.71$, $P<0.001$) 后的 MET 较常规护理组均有显著提高。MET 定义为 1 MET=3.5 mL/(kg·min) 耗氧量,是一个简单、实用的评估因子。尽管存在局限性,但 MET 提供了一种便捷的方式来界定个体在安全范围内参与运动的强度。MET 的增加即意味着体适能的增强^[43]。此外, MMP-9 在血管重构和动脉粥样硬化病变中起着关键作用。研究表明,抑制 MMP-9 可使多种心血管疾病模型获益,而 AAA 患者中 MMP-9 的高表达会增加瘤体内血栓形成的风险^[44]。本 Meta 分析发现,长期耐力训练可降低患者的 MMP-9 水平,这与 Niessner 等^[45]的研究结果一致。在围手术期 AAA 患者的研究中,体力活动干预主要集中在术前阶段。基于现有报告数据,笔者发现术前运动可略微缩短 AAA 患者的围手术期住院时间。AAA 通常发生于伴有动脉粥样硬化的老年人群^[46-47],受共病、久坐习惯和年龄影响,这类患者的运动能

力普遍较差^[48]。目前的证据表明,术前运动疗法能够优化心血管手术后的康复进程,减少术后并发症并缩短住院时间^[49]。安全性方面,在大规模心脏病^[50]及外周动脉疾病^[51]患者的运动训练中,不良事件发生率极低。Myers等^[52]发现,尽管AAA患者发生高血压或低血压的概率略高于同龄规律运动者,但在研究期间并未发生与心肺运动试验相关的严重事件。在本研究关于住院时间的分析中,其中1篇文献产生了较大的偏倚,这可能是由于该研究数据未针对年龄、BMI等因素进行多因素校正,故在最终分析中予以剔除。森林图显示的一定异质性,可能源于目前关于运动对AAA围手术期影响的研究数量较少,未来仍需持续关注最新研究成果。

本研究也存在一定的局限性:评估工具的不一致性,不同研究采用的体力活动评估问卷各异,可能导致效应度不一,产生部分异质性。自我报告偏倚:纳入的研究主要依赖患者的自我感知来报告运动水平,仅部分研究对报告结果进行了验证。单位换算误差:不同研究报告体力活动的单位不同,本研究通过估算运动强度进行单位统一,可能存在一定偏差。样本量限制:纳入的患者总数相对较少,可能不足以产生更具普适性的最优结果,例如血清TC等次要结局指标仅有2项研究报告,导致统计学异质性极高($I^2=97.01\%$),且受限文献数量无法开展亚组或敏感度分析探寻来源,这限制了部分次要临床结局结论的可靠性与普适性。未来仍需要更多设计严谨、报告规范的高质量RCT研究进行补充验证。最后,纳入的原始RCT研究普遍缺乏对瘤体远期破裂、急诊手术转化、主要不良心血管事件以及受试者退出率等核心安全指标的标准化定量追踪与披露,这类终点事件在短期随访中发生率极低且存在报告偏倚,导致本研究难以对其进行深度合并Meta分析,这在客观上削弱了对其系统安全性的证据支持效能。未来的相关多中心研究亟须对此建立统一、规范的安全终点报告。

基于前瞻性队列研究的剂量-反应分析证实,健康人群的日常体力活动水平与AAA的发生/发现风险呈线性负相关,提示维持足够的日常体力活动是潜在的有效预防手段。针对未手术的小AAA患者,为期3~12个月的长期、规律有氧与阻力运动训练未增加瘤体破裂及进展风险,且能显著增

强患者的MET与运动适能,提示其具有初步的短期临床可行性,但鉴于不良事件及退出率报告的局限性,其系统及远期安全性仍有待大样本、长期随访研究的审慎评估。围手术期证据表明,在择期手术前实施短期的预康复运动训练,能够优化患者的心肺储备,从而略微缩短AAA患者的术后住院时间,助力加速康复。综上所述,临床实践中应针对AAA患者所处的不同疾病阶段,精准制定并推荐相对应的体力活动指导或运动处方。

作者贡献声明:刘媛媛、刘玉华共同参与研究构思与设计、数据收集、分析和结果解释;刘媛媛、张元元、王雅文负责初稿撰写;刘玉华负责文稿审阅与修改。所有作者都同意对研究的各个方面负责。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Panebianco NL. Abdominal Aortic Aneurysm: Diagnosis and Management[A]//Vincent JL, Hall JB, eds Encyclopedia of Intensive Care Medicine[M]. Berlin Heidelberg: Springer, 2012:5-10. doi:10.1007/978-3-642-00418-6_803.
- [2] Brown LC, Powell JT, Thompson SG, et al. The UK EndoVascular Aneurysm Repair (EVAR) trials: randomised trials of EVAR versus standard therapy[J]. Health Technol Assess, 2012, 16(9):1-218. doi: 10.3310/hta16090.
- [3] Bown MJ, Sweeting MJ, Brown LC, et al. Surveillance intervals for small abdominal aortic aneurysms: a meta-analysis[J]. JAMA, 2013, 309(8):806-813. doi:10.1001/jama.2013.950.
- [4] Powell JT, Gotensparre SM, Sweeting MJ, et al. Rupture rates of small abdominal aortic aneurysms: a systematic review of the literature[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2011, 41(1):2-10. doi: 10.1016/j.ejvs.2010.09.005.
- [5] Jacomelli J, Summers L, Stevenson A, et al. Impact of the first 5 years of a national abdominal aortic aneurysm screening programme[J]. Br J Surg, 2016, 103(9):1125-1131. doi: 10.1002/bjs.10173.
- [6] Svensjö S, Mani K, Björck M, et al. Screening for abdominal aortic aneurysm in 65-year-old men remains cost-effective with contemporary epidemiology and management[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2014, 47(4): 357-365. doi: 10.1016/j.ejvs.2013.12.023.
- [7] Wild JB, Stather PW, Biancari F, et al. A multicentre observational study of the outcomes of screening detected sub-aneurysmal aortic dilatation[J]. Eur J Vasc Endovasc Surg, 2013, 45(2):128-134. doi:

- 10.1016/j.ejvs.2012.11.024.
- [8] Han YS, Zhang J, Xia Q, et al. A comparative study on the medium-long term results of endovascular repair and open surgical repair in the management of ruptured abdominal aortic aneurysms[J]. *Chin Med J*, 2013, 126(24): 4771–4779. doi: 10.3760/cma.j.issn.0366-6999.20122076.
- [9] Waton S, Johal A, Heikkil K, et al. National Vascular Registry 2018 Annual Report[M]. London: The Royal College of Surgeons of England, 2018.
- [10] Boden WE, Franklin B, Berra K, et al. Exercise as a therapeutic intervention in patients with stable ischemic heart disease: an underfilled prescription[J]. *Am J Med*, 2014, 127(10):905–911. doi: 10.1016/j.amjmed.2014.05.007.
- [11] Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews[J]. *BMJ*, 2021, 372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.
- [12] Oyenuga AO, Folsom AR, Lutsey PL, et al. Association of Life's Simple 7 with reduced clinically manifest abdominal aortic aneurysm: The ARIC study[J]. *Vasc Med*, 2019, 24(3): 224–229. doi:10.1177/1358863x19829226.
- [13] Stackelberg O, Södersjukhuset, University U, et al. Lifestyle and risk of screening-detected abdominal aortic aneurysm in men[J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(5): e004725. doi: 10.1161/jaha.116.004725.
- [14] Xu C, Doi SAR. The robust error meta-regression method for dose-response meta-analysis[J]. *Int J Evid Based Healthc*, 2018, 16(3): 138–144. doi:10.1097/XEB.0000000000000132.
- [15] Luo DH, Wan X, Liu JM, et al. Optimally estimating the sample mean from the sample size, Median, mid-range, and/or mid-quartile range[J]. *Stat Methods Med Res*, 2018, 27(6): 1785–1805. doi: 10.1177/0962280216669183.
- [16] Wan X, Wang W, Liu J, et al. Estimating the sample mean and standard deviation from the sample size, Median, range and/or interquartile range[J]. *BMC Med Res Methodol*, 2014, 14(1): 135. doi:10.1186/1471-2288-14-135.
- [17] Nordkvist S, Sonestedt E, Acosta S. Adherence to diet recommendations and risk of abdominal aortic aneurysm in the Malmo Diet and Cancer Study[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1):2017. doi: 10.1038/s41598-018-20415-z.
- [18] Wong DR, Willett WC, Rimm EB. Smoking, hypertension, alcohol consumption, and risk of abdominal aortic aneurysm in men[J]. *Am J Epidemiol*, 2007, 165(7):838–845. doi:10.1093/aje/kwk063.
- [19] Lima RM, Vainshelboim B, Ganatra R, et al. Exercise training improves ventilatory efficiency in patients with a small abdominal aortic aneurysm: a RANDOMIZED CONTROLLED STUDY[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2018, 38(4): 239–245. doi: 10.1097/hcr.0000000000000270.
- [20] Myers JN, White JJ, Narasimhan B, et al. Effects of exercise training in patients with abdominal aortic aneurysm: preliminary results from a randomized trial[J]. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 2010, 30(6):374–383. doi:10.1097/hcr.0b013e3181ebf2db.
- [21] Myers J, McElrath M, Jaffe A, et al. A randomized trial of exercise training in abdominal aortic aneurysm disease[J]. *Med Sci Phys Exerc*, 2014, 46(1):2–9. doi:10.1249/mss.0b013e3182a088b8.
- [22] Tew GA, Moss J, Crank H, et al. Endurance exercise training in patients with small abdominal aortic aneurysm: a randomized controlled pilot study[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2012, 93(12): 2148–2153. doi:10.1016/j.apmr.2012.07.012.
- [23] Niebauer S, Niebauer J, Dalman R, et al. Effects of exercise training on vascular markers of disease progression in patients with small abdominal aortic aneurysms[J]. *Am J Med*, 2021, 134(4): 535–541. doi:10.1016/j.amjmed.2020.07.029.
- [24] Kothmann E, Batterham AM, Owen SJ, et al. Effect of short-term exercise training on aerobic fitness in patients with abdominal aortic aneurysms: a pilot study[J]. *Br J Anaesth*, 2009, 103(4):505–510. doi:10.1093/bja/aep205.
- [25] Dronkers J, Veldman A, Hoberg E, et al. Prevention of pulmonary complications after upper abdominal surgery by preoperative intensive inspiratory muscle training: a randomized controlled pilot study[J]. *Clin Rehabil*, 2008, 22(2): 134–142. doi: 10.1177/0269215507081574.
- [26] Barakat HM, Shahin Y, McCollum PT, et al. Prediction of organ-specific complications following abdominal aortic aneurysm repair using cardiopulmonary exercise testing[J]. *Anaesthesia*, 2015, 70(6):679–685. doi:10.1111/anae.12986.
- [27] Hayashi K, Hirashiki A, Kodama A, et al. Impact of preoperative regular physical activity on postoperative course after open abdominal aortic aneurysm surgery[J]. *Heart Vessels*, 2016, 31(4): 578–583. doi:10.1007/s00380-015-0644-6.
- [28] Wnuk BR, Durmała J, Ziaja K, et al. A controlled trial of the efficacy of a training walking program in patients recovering from abdominal aortic aneurysm surgery[J]. *Adv Clin Exp Med*, 2016, 25(6):1241–1371. doi:10.17219/acem/62239.
- [29] Weston M, Batterham AM, Tew GA, et al. Patients awaiting surgical repair for large abdominal aortic aneurysms can exercise at moderate to hard intensities with a low risk of adverse events[J]. *Front Physiol*, 2017, 7:684. doi:10.3389/fphys.2016.00684.
- [30] Tew GA, Batterham AM, Colling K, et al. Randomized feasibility trial of high-intensity interval training before elective abdominal aortic aneurysm repair[J]. *Br J Surg*, 2017, 104(13):1791–1801. doi: 10.1002/bjs.10669.
- [31] Taylor CA, Cheng CP, Espinosa LA, et al. In vivo quantification of blood flow and wall shear stress in the human abdominal aorta during lower limb exercise[J]. *Ann Biomed Eng*, 2002, 30(3):402–

408. doi:10.1114/1.1476016.
- [32] Cheng CP, Herfkens RJ, Taylor CA. Abdominal aortic hemodynamic conditions in healthy subjects aged 50–70 at rest and during lower limb exercise: in vivo quantification using MRI[J]. *Atherosclerosis*, 2003, 168(2): 323–331. doi: 10.1016/S0021-9150(03)00099-6.
- [33] Cheng CP, Herfkens RJ, Taylor CA. Comparison of abdominal aortic hemodynamics between men and women at rest and during lower limb exercise[J]. *J Vasc Surg*, 2003, 37(1): 118–123. doi: 10.1067/mva.2002.107.
- [34] Fleming C, Whitlock EP, Beil TL, et al. Screening for abdominal aortic aneurysm: a best-evidence systematic review for the U. S. preventive services task force[J]. *Ann Intern Med*, 2005, 142(3): 203–211. doi:10.7326/0003-4819-142-3-200502010-00012.
- [35] Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al. Quality of life, impotence, and activity level in a randomized trial of immediate repair versus surveillance of small abdominal aortic aneurysm[J]. *J Vasc Surg*, 2003, 38(4): 745–752. doi: 10.1016/s0741-5214(03)00423-3.
- [36] Manson JE, Greenland P, LaCroix AZ, et al. Walking compared with vigorous exercise for the prevention of cardiovascular events in women[J]. *N Engl J Med*, 2002, 347(10):716–725. doi:10.1056/nejmoa021067.
- [37] Myers J, Kaykha A, George S, et al. Fitness versus physical activity patterns in predicting mortality in men[J]. *Am J Med*, 2004, 117(12):912–918. doi:10.1016/j.amjmed.2004.06.047.
- [38] Yamamoto S, Hotta K, Ota E, et al. Effects of resistance training on muscle strength, exercise capacity, and mobility in middle-aged and elderly patients with coronary artery disease: a meta-analysis[J]. *J Cardiol*, 2016, 68(2):125–134. doi:10.1016/j.jjcc.2015.09.005.
- [39] Pedersen BK. The anti-inflammatory effect of exercise: its role in diabetes and cardiovascular disease control[J]. *Essays Biochem*, 2006, 42:105–117. doi:10.1042/bse0420105.
- [40] Grant SW, Hickey GL, Wisely NA, et al. Cardiopulmonary exercise testing and survival after elective abdominal aortic aneurysm repair[J]. *Br J Anaesth*, 2015, 114(3): 430–436. doi: 10.1093/bja/aeu383.
- [41] Prentis JM, Trenell MI, Jones DJ, et al. Submaximal exercise testing predicts perioperative hospitalization after aortic aneurysm repair[J]. *J Vasc Surg*, 2012, 56(6): 1564–1570. doi: 10.1016/j.jvs.2012.05.097.
- [42] Thompson A, Peters N, Lovegrove R, et al. Cardiopulmonary exercise testing provides a predictive tool for early and late outcomes in abdominal aortic aneurysm patients[J]. *Ann R Coll Surg Engl*, 2011, 93(6):474–481. doi:10.1308/003588411x587235.
- [43] Franklin BA, Brinks J, Berra K, et al. Using metabolic equivalents in clinical practice[J]. *Am J Cardiol*, 2018, 121(3): 382–387. doi: 10.1016/j.amjcard.2017.10.033.
- [44] Li T, Li X, Liu X, et al. The elevated expression of TLR4 and MMP9 in human abdominal aortic aneurysm tissues and its implication[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2021, 21(1): 378. doi: 10.1186/s12872-021-02193-1.
- [45] Niessner A, Richter B, Penka M, et al. Endurance training reduces circulating inflammatory markers in persons at risk of coronary events: Impact on plaque stabilization? [J]. *Atherosclerosis*, 2006, 186(1):160–165. doi:10.1016/j.atherosclerosis.2005.06.047.
- [46] Shi F, He Y, Wang S, et al. Endovascular and open surgical repair of abdominal aortic aneurysms: a comparative analysis of western and Chinese studies[J]. *Rev Cardiovasc Med*, 2020, 21: 75. doi: 10.31083/j.rcm.2020.01.513.
- [47] Han Y, Zhang S, Zhang J, et al. Outcomes of endovascular abdominal aortic aneurysm repair in octogenarians: meta-analysis and systematic review[J]. *Eur J Vasc Endovasc Surg*, 2017, 54(4): 454–463. doi:10.1016/j.ejvs.2017.06.027.
- [48] Lederle FA, Johnson GR, Wilson SE, et al. The aneurysm detection and management study screening program: validation cohort and final results[J]. *Arch Intern Med*, 2000, 160(10): 1425–1430. doi: 10.1001/archinte.160.10.1425.
- [49] Hoogeboom TJ, Dronkers JJ, Hulzebos EHJ, et al. Merits of exercise therapy before and after major surgery[J]. *Curr Opin Anaesthesiol*, 2014, 27(2): 161–166. doi: 10.1097/ACO.0000000000000062.
- [50] Pavy B, Iliou MC, Meurin P, et al. Safety of exercise training for cardiac patients: results of the French registry of complications during cardiac rehabilitation[J]. *Arch Intern Med*, 2006, 166(21): 2329–2334. doi:10.1001/archinte.166.21.2329.
- [51] Gommans L, Fokkenrood H, van Dalen HCW, et al. Safety of supervised exercise therapy in patients with intermittent claudication[J]. *J Vasc Surg*, 2015, 61(2):512–518. doi: 10.1016/j.jvs.2014.08.070.
- [52] Myers J, Powell A, Smith K, et al. Cardiopulmonary exercise testing in small abdominal aortic aneurysm: profile, safety, and mortality estimates[J]. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil*, 2011, 18(3): 459–466. doi:10.1177/1741826710389384.

(本文编辑 宋涛)

本文引用格式: 刘媛媛, 张元元, 王雅文, 等. 体力活动与运动训练对腹主动脉瘤发生风险及临床结局影响的Meta分析[J]. 中国普通外科杂志, 2026, 35(6):1148–1160. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260224

Cite this article as: Liu YY, Zhang YY, Wang YW, et al. Effects of physical activity and exercise training on the risk of abdominal aortic aneurysm and clinical outcomes: a Meta-analysis[J]. *Chin J Gen Surg*, 2026, 35(6):1148–1160. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.260224