

# 有氧联合不同强度抗阻对糖脂代谢影响的 Meta 分析

范志伟

(武汉体育学院 艺术学院,湖北 武汉 430079)

**摘要:** **目的** 系统评价有氧运动(AT)联合不同强度抗阻训练(RT)对中老年2型糖尿病患者(T2DM)糖脂代谢功能的影响,为优化T2DM运动处方提供依据。**方法** 通过检索CNKI、万方数据库、PubMed、Web of Science、Elsevier,检索时间截至2022年12月16日,收集同期训练(CT)影响中老年T2DM患者糖脂代谢的随机对照试验(RCT),应用Cochrane偏倚风险评估工具对纳入文献进行方法学质量评价,采用Revman 5.4进行统计分析。**结果** 共纳入RCT文献13篇,总样本量525人,Meta分析结果显示,CT能显著降低中老年T2DM患者空腹血糖(FBG)、糖化血红蛋白(HbA1c)、总胆固醇(TC),标准差分别降低0.29、0.9、0.31;CT对中老年T2DM患者身体质量指数(BMI)、甘油三酯(TG)的影响不明显。通过亚组分析得出,AT联合中高强度RT对FBG、HbA1c、TC有更加显著的影响,标准差分别降低0.46、0.58、0.46;而AT联合中低强度RT时,所有结局指标均无显著差异。**结论** AT联合中高强度RT可以显著降低中老年T2DM患者FBG、HbA1c、TC,运动对血脂的影响不如血糖。

**关键词:** 运动处方;2型糖尿病;糖脂代谢

**中图分类号:** G812 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-983X(2023)10-0938-07

## Meta-analysis of Effects of Aerobic Combined with Different Intensity of Resistance on Glycolipid Metabolism

FAN Zhiwei

(College of Art, Wuhan Sports University, Wuhan Hubei, 430079)

**Abstract:** **Objective** To systematically evaluate the effects of aerobic exercise (AT) combined with resistance training (RT) of different intensities on glucose and lipid metabolism in middle-aged and elderly patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM), and to provide evidence for optimizing exercise prescription for T2DM. **Methods** CNKI, Wanfang Database, PubMed, Web of Science and Elsevier were searched to collect randomized controlled trials (RCTs) on the effect of concurrent training (CT) on glucose and lipid metabolism in middle-aged and elderly patients with T2DM. The search time was up to December 16, 2022. Cochrane Collaboration's tool for assessing the risk of bias was used to assess the methodological quality of the included studies, and Revman 5.4 was used for statistical analysis. **Results** A total of 13 RCTs were included, with a total sample size of 525. The results of Meta-analysis showed that CT could significantly reduce fasting blood glucose (FBG), glycosylated hemoglobin (HbA1c), and total cholesterol (TC) in middle-aged and elderly T2DM patients, and the standard deviation was reduced by 0.29, 0.9, and 0.31, respectively. CT has no significant effect on body mass index (BMI) and triglyceride (TG) in middle-aged and elderly patients with T2DM. Subgroup analysis further showed that AT combined with moderate-to-high intensity RT had more significant effects on FBG, HbA1c, and TC, with standard deviations reduced by 0.46, 0.58, and 0.46, respectively. However, there were no significant differences in all outcome measures when AT was combined with moderate-low intensity RT. **Conclusion** AT combined with moderate-to-high intensity RT can significantly reduce FBG, HbA1c and TC in middle-aged and elderly patients with T2DM. The effect of exercise on blood lipid is not as good as that on blood glucose.

**Keywords:** exercise prescription; type 2 diabetes mellitus; glucolipid metabolism

我国老年人口慢性疾病主要为心脑血管疾病、癌症、慢性阻塞性肺疾病和糖尿病<sup>[1]</sup>,且3/4的老人患有不止一种疾病<sup>[2]</sup>。中国糖尿病患者数量居世界首位,T2DM占90%以上<sup>[3]</sup>。运动是改善身体功能和心血管代谢的非药物干预的基石<sup>[4]</sup>。《WHO关于身体活动和久坐行为的指南》建议,T2DM患者每周应进

收稿日期:2023-08-03

作者简介:范志伟(1998~),男,浙江嘉兴人,在读硕士,研究方向:运动训练,E-mail:zw1037228039@163.com。

行 $\geq 150\sim 300$  min 中等强度的 AT, 或 $\geq 75\sim 150$  min 高强度或中高强度结合的 AT, 并确定为终生运动<sup>[5]</sup>, 美国医学会提出 T2DM 患者应保证每周通过运动消耗 1 000 kcal<sup>[6]</sup>, 国内外学者提出运动是良医<sup>[7]</sup>。

传统上认为, AT 是预防和治疗 T2DM 最合适的运动方式<sup>[8]</sup>, 有效改善 T2DM 患者的糖脂代谢<sup>[3]</sup>和内脏脂肪沉积<sup>[9]</sup>, 刺激分泌更多脂解激素, 促进内脏脂肪动员<sup>[10]</sup>。AT 具有长期效益<sup>[11]</sup>, 但必须对患者进行严格监控, 否则无法取得理想效果<sup>[12]</sup>。外周葡萄糖代谢异常是造成 T2DM 患者糖代谢紊乱的主要原因, 而骨骼肌是在胰岛素刺激下摄取葡萄糖的主要外周部位<sup>[13]</sup>, RT 能进一步提高胰岛素敏感性, 增加肌肉的同时帮助消耗更多脂肪<sup>[14]</sup>, 因此大量临床证据支持 T2DM 患者选择 RT。AT 长期以来被认为是 T2DM 患者的最佳治疗方法, 同时 RT 的潜在作用常被忽视。与单独 AT 或者 RT 相比, AT 联合 RT 的方式对 T2DM 患者的辅助治疗更为有效, 有利于强化运动依从性<sup>[15]</sup>。CT 对于改善 T2DM 患者糖脂代谢个体化运动处方的剂量或特征 (即达到特定健康结局指标所需的训练强度、负荷量和频率) 尚未确定。因为运动处方的不同组成部分可能带来不同的健康益处, 所以在 T2DM 患者糖脂代谢的运动干预研究中, 需要明确定义运动的方式、强度、频率和持续时间。本研究采用 Meta 分析的方法, 综合各项改善 T2DM 患者糖脂代谢的临床试验, 探讨不同运动处方参数的剂量效应, 明确最佳运动剂量。

## 1 研究方法

### 1.1 文献检索

中文数据库包括 CNKI、万方数据库; 外文数据库包括 PubMed、Web of Science、Elsevier。以 (“糖尿病”) 和 (“有氧和抗阻运动”或 “抗阻联合有氧”) 为中文主题词进行布尔逻辑检索; 以 (“diabetes”) AND (“concurrent” OR “combined” OR “combination” OR “plus”) AND (“strength” OR “resistance” OR “endurance” OR “aerobic”) AND (“training” OR “exercise”) 为英文主题词进行布尔逻辑检索, 未进行语种限制。检索时间截至 2022 年 12 月 16 日, 以追溯法保证文献查全率。

### 1.2 文献的纳入及排除

根据考克兰系统评价 PICOS 原则, 纳入标准包括: 1) 研究对象: 受试者为明确诊断的 T2DM 成年患者, 且无运动障碍; 2) 干预及对照措施: 运动干预是唯一的干预措施, 运动干预形式为 AT 与 RT 结合的混合运动, 干预周期 $\geq 8$  周, 对照组为 AT; 3) 结局指标: FBG、HbA1c、TC、TG、BMI; 4) 实验类型均采用 RCT。排除标准: 1) 非中英文文献; 2) 动物实验; 3) 重复发表的文献; 4) 未公开发表的文献; 5) 动物实验; 6) 无有氧训练组。

利用 Endnote X9 软件管理文献的检索记录。由 2 名有经验的评价员根据文献纳入与排除标准, 独立完成文献的初筛和全文筛选。

### 1.3 数据提取与质量评价

由上述 2 名评价员完成数据提取和质量评价。从每项符合条件的研究中提取的数据包括文献目录信息 (作者、出版年份)、患者特征 (分组情况、平均年龄、性别、样本量)、干预措施的详细信息 (内容、频率、时长、强度)、报告的结局指标 (FBG、

HbA1c、TC、TG、BMI)。

## 1.4 统计分析

应用 Revman 5.4 软件进行异质性检验、数据合并、亚组分析和绘制森林图。因各研究 FBG、TC 和 TG 结局指标单位不统一, 故以标准化均数差及其 95% 可信区间作为结果的效应尺度; 以均数差及其 95% 可信区间作为 HbA1c 和 BMI 结果的效应尺度。以  $I^2$  作为评价各研究之间一致性的统计量,  $I^2$  为 25%、50%、75% 分别代表合并结果无明显异质性、中等异质性和较大异质性<sup>[16]</sup>。当合并结果存在中等或较大异质性时, 采用随机效应模型, 并进行亚组分析和敏感性分析。采用 Egger 法、Begg 法及漏斗图法检验各项研究间的发表偏倚,  $p < 0.1$  为显著性水平<sup>[17]</sup>。除以上特别注明, 其余检验  $p < 0.05$  为显著性水平,  $p < 0.01$  为非常显著水平。

## 2 研究结果

### 2.1 纳入研究及基本特征

检索共获得 6 565 篇中外文献, 文献追溯得到中文文献 1 篇, 剔除重复剩余文献 5 491 篇, 通过对检索结果的筛选和阅读, 共纳入符合 Meta 分析要求的文献 13 篇, 其中中文文献 3 篇, 英文文献 10 篇。纳入文献的总样本量为 525 人, CT 269 人, AT 256 人。研究的受试者均为 “未参与过训练” 或 “长期久坐” 的 T2DM 确诊 1 年以上的中老年患者。文献筛选流程如图 1 所示。

纳入文献情况: 力量训练安排中有 12 篇以器械为主, 1 篇以弹力带为主; 耐力训练中以功率 4 篇以功率自行车为主, 2 篇以健步走为主, 1 篇以跑步为主, 6 篇采用混合运动模式; 训练周期多数集中在 12 周。训练频率集中在每周 3~4 次, 1 篇采用每周训练 5 次; 2 篇 AT 采用高强度间歇训练。文献基本特征如表 1 所示。

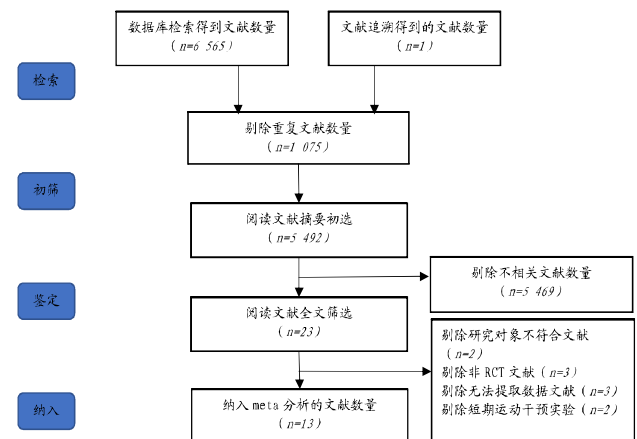


图 1 Meta 分析文献筛选流程

### 2.2 Meta 分析及发表偏倚评价

偏倚风险评估采用 Cochrane 偏倚风险评估工具, 采用手册推荐的评价标准对纳入文献进行评估。纳入文献均为 RCT, 其中 11 篇详细描述了随机方法, 6 篇采用分配隐藏, 4 篇为实施者和参与者双盲实验, 8 篇采用单盲实验, 1 篇没有详细描述, 1 篇结局数据存在部分缺失。在纳入分析的 13 篇文献中, 9 篇为低偏倚风险, 4 篇为中等偏倚风险。

表 1 纳入文献的基本特征

纳入文献	分组	年龄/岁	样本量	周期/ 周	耐力训练			力量训练			结局指标
					频率/ (次/周)	时长/min	强度	频率/ (次/周)	时长 /min	强度	
Aminilar 等2017 <sup>[18]</sup>	CT	45~60	13	12	3	15	50%~55% HR <sub>MAX</sub>	3	-	50%~55% RM	FBG、BMI
	AT		12		3	25	50%~55% HR <sub>MAX</sub>				
Banitalebi 等 2019 <sup>[19]</sup>	CT	54.14 ± 5.43	14	10	3	20~30	60%~70% HR <sub>MAX</sub>	2	-	10~15 RM	FBG、HbA1c、BMI
	AT	55.36 ± 5.94	14		3	17	All-out				
Haiguo Liu 等2016 <sup>[20]</sup>	CT	55+	14	16	4	30	70%~80% HR <sub>MAX</sub>	4	30	55%~65% RM	FBG、HbA1c、TC、 TG
	AT		16		4	60~80	70%~80% HR <sub>MAX</sub>				
Jorge 等2011 <sup>[21]</sup>	CT	57.9 ± 9.82	12	12	3	30	< AeT	3	30	50%~55% RM	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	52.09 ± 8.71	12		3	60	< AeT				
Kadoglou 等 2013 <sup>[22]</sup>	CT	5.79 ± 6.5	22	21	4	30	60%~75% HR <sub>MAX</sub>	4	30	60%~80% RM	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	58.3 ± 5.4	21		4	60	60%~75% HR <sub>MAX</sub>				
Lambers 等2008 <sup>[23]</sup>	CT	55.8 ± 9.66	17	18	3	30	60%~85% HR <sub>MAX</sub>	3	30	60%~85% RM	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	52.2 ± 8.26	18		3	60	60%~85% HR <sub>MAX</sub>				
Mehdizadeh 等2016 <sup>[24]</sup>	CT	56.5 ± 1.87	10	12	2/1	50	70%~80% HR <sub>MAX</sub>	1,2(循环)	45	40%~45%RM, +10%RM/4周	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	58.33 ± 1.81	9		3	50	70%~80% HR <sub>MAX</sub>				
Sabouri 等2021 <sup>[25]</sup>	CT	52.53 ± 4.8	15	16	3	20	85%~90% HR <sub>MAX</sub>	3	-	15RM	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	52.02 ± 4.59	16		3	20	85%~90% HR <sub>MAX</sub>				
Sigal 等2007 <sup>[26]</sup>	CT	53.5 ± 7.3	58	49	3	60	60%~75% HR <sub>MAX</sub>	3	-	7~9RM	HbA1c、BMI、TG
	AT	53.9 ± 6.6	49		3	60	60%~75% HR <sub>MAX</sub>				
Yavari 等2012 <sup>[27]</sup>	CT	50.9 ± 9.8	15	15	3	30	60%~75% HR <sub>MAX</sub>	3	-	8~10RM	FBG、HbA1c、 BMI、TC、TG
	AT	48.2 ± 9.2	15		3	60	60%~75% HR <sub>MAX</sub>				
常凤2018 <sup>[28]</sup>	CT	53.2 ± 4	18	24	3	30	50% HR <sub>MAX</sub>	3	-	20~25RM	FBG、HbA1c、TC、 TG
	AT	53.3 ± 3.8	18		3	30	50% HR <sub>MAX</sub>				
毛立伟 等2016 <sup>[29]</sup>	CT	65.8 ± 8.8	19	18	3	30~60	60%~85% HR <sub>MAX</sub>	3	-	自主感觉劳累分级 11—13	FBG、HbA1c、TC、 TG
	AT	67.5 ± 7.5	18		3	30~60	60%~85% HR <sub>MAX</sub>				
许聿新 等2019 <sup>[30]</sup>	CT	65.46 ± 4.98	42	38	5	30	50%~65% HR <sub>MAX</sub>	3	-	70%~80%RM	FBG、HbA1c、TC、 TG
	AT	65.41 ± 5.01	38		5	30	50%~65% HR <sub>MAX</sub>				

注:CT:同期训练组;AT:有氧训练组;AeT:有氧阈。

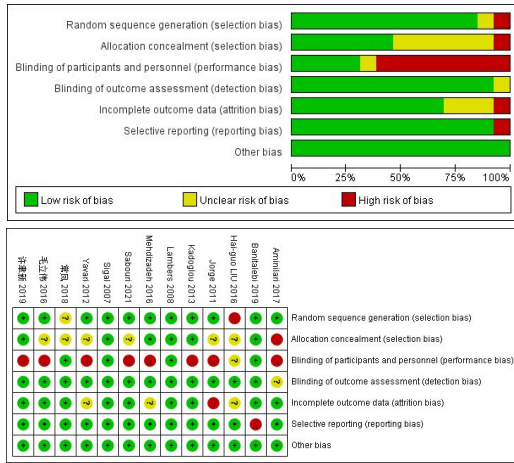


图 2 Cochrane 偏倚风险评估

### 2.3 数据合成分析

#### 2.3.1 CT 对 T2DM 患者 FBG 的 Meta 分析

由于 FBG 的测量单位不统一,所以采用标准化均数差作为效应量。共纳入文献 12 篇,CT 211 人,AT 训练 206 人。Meta 分析结果显示,研究间存在轻度异质性 ( $I^2=10\%$ ,  $p>0.1$ )。采用固定效应模型得到合并研究的总效应量及 95% CI 为  $-0.29 [-0.49, -0.10]$ ,有非常显著差异 ( $p<0.01$ )。

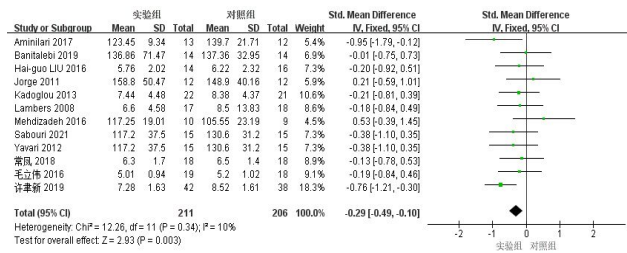


图 3 CT 和 AT 对 FBG 的影响

#### 2.3.2 CT 对 T2DM 患者 HbA1c 的 Meta 分析

共纳入文献 12 篇,CT 256 人,AT 训练 244 人。Meta 分析结果显示,研究间存在轻度异质性 ( $I^2=6\%$ ,  $p>0.1$ )。采用固定效应模型得到合并研究的总效应量及 95% CI 为  $-0.29 [-0.49, -0.09]$ ,有非常显著差异 ( $p<0.01$ )。

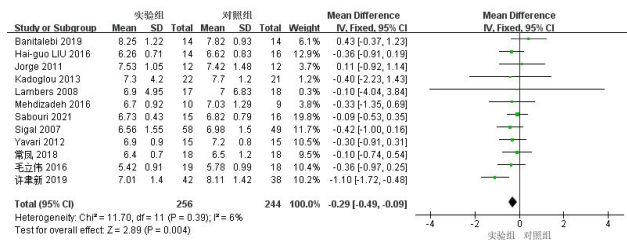


图 4 CT 和 AT 对 HbA1c 的影响

#### 2.3.3 CT 对 T2DM 患者 BMI 的 Meta 分析

共纳入文献 9 篇,CT 176 人,AT 训练 166 人。Meta 分析结果显示,研究间不存在异质性 ( $I^2=0\%$ ,  $p>0.1$ )。采用固定效应模型得到合并研究的总效应量及 95% CI 为  $-0.70 [-4.14, 2.74]$ ,无统计学意义 ( $p>0.05$ )。

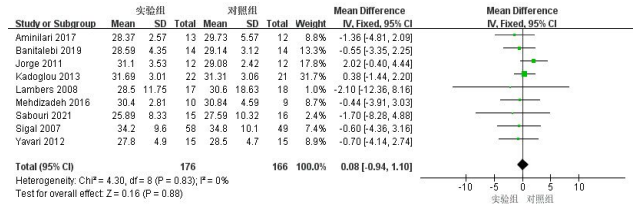


图 5 CT 和 AT 对 BMI 的影响

#### 2.3.4 CT 对 T2DM 患者 TC 的 Meta 分析

由于 TC 的测量单位不统一,所以采用标准化均数差作为效应量。共纳入文献 10 篇,CT 174 人,AT 训练 172 人。Meta 分析结果显示,研究间存在中度异质性 ( $I^2=38\%$ ,  $p>0.1$ )。采用随机效应模型得到合并研究的总效应量及 95% CI 为  $-0.31 [-0.58, -0.04]$ ,有显著性差异 ( $p<0.05$ )。

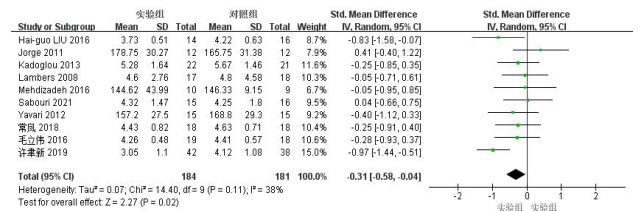


图 6 CT 和 AT 对 TC 的影响

#### 2.3.5 CT 对 T2DM 患者 TG 的 Meta 分析

由于 TG 的测量单位不统一,所以采用标准化均数差作为效应量。共纳入文献 11 篇,CT 242 人,AT 训练 230 人。Meta 分析结果显示,研究间不存在异质性 ( $I^2=0\%$ ,  $p>0.1$ )。采用固定效应模型得到合并研究的总效应量及 95% CI 为  $-0.16 [-0.34, 0.02]$ ,无统计学意义 ( $p>0.05$ )。

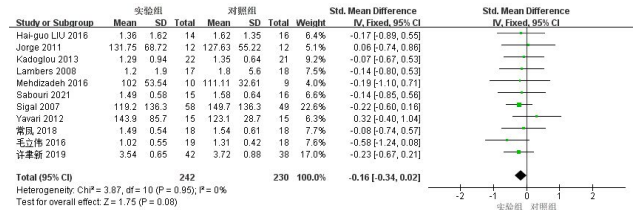


图 7 CT 和 AT 对 TG 的影响

### 2.4 亚组分析

以往文献<sup>[13,31-33]</sup>显示,CT 中 RT 的强度可能对 T2DM 患者糖脂代谢水平产生显著影响。因此,根据相关文献 CT 时 RT 强度,对各指标进行亚组分析,将 RT 分成以肌肥大为主的中高强度训练和以肌耐力为主的中低强度训练,观察 AT 联合不同强度的 RT 是否会产生更加显著的影响。

FBG 亚组分析:共纳入 12 项研究(HRT 有 4 项,共 188 人;LRT 有 8 项,共 229 人)报告了 CT 对 FBG 的影响。Meta 分析结果显示,HRT ( $SMD=-0.46, 95\% CI [-0.75, -0.16]$ ,  $I^2=2\%$ ),有非常显著的差异 ( $p<0.01$ );LRT ( $SMD=-0.16, 95\% CI [-0.42, 0.10]$ ,  $I^2=0\%$ ),无显著差异 ( $p>0.05$ )。

HbA1c 亚组分析:共纳入 12 项研究(HRT 有 5 项,共 295 人;LRT 有 7 项,共 205 人)报告了 CT 对 HbA1c 的影响。Meta 分析结果显示,HRT ( $SMD=-0.58, 95\% CI [-0.92, -0.24]$ ,  $I^2=0\%$ ),有非常显著的差异 ( $p<0.01$ );LRT ( $SMD=-0.14, 95\% CI$

[-0.38, 0.10],  $F=0\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ )。

**BMI 亚组分析:**共纳入 9 项研究(HRT 有 4 项, 共 96 人; LRT 有 5 项, 共 127 人)报告了 CT 对 BMI 的影响。Meta 分析结果显示, HRT ( $SMD=0.27, 95\% CI[-1.20, 1.73]$ ,  $F=11\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ ); LRT ( $SMD=0.17, 95\% CI[-1.26, 1.60]$ ,  $F=0\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ )。

**TC 亚组分析:**共纳入 10 项研究(HRT 有 4 项, 共 188 人; LRT 有 6 项, 共 177 人)报告了 CT 对 TC 的影响。Meta 分析结果显示, HRT ( $SMD=-0.46, 95\% CI[-0.90, -0.02]$ ,  $F=53\%$ ), 有显著差异 ( $p<0.05$ ); LRT ( $SMD=-0.18, 95\% CI[-0.50, 0.13]$ ,  $F=8\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ )。

**TG 亚组分析:**共纳入 11 项研究(HRT 有 5 项, 共 195 人; LRT 有 6 项, 共 177 人)报告了 CT 对 TG 的影响。Meta 分析结果显示, HRT ( $SMD=-0.14, 95\% CI[-0.37, 0.09]$ ,  $F=0\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ ); LRT ( $SMD=-0.20, 95\% CI[-0.50, 0.10]$ ,  $F=0\%$ ), 无显著差异 ( $p>0.05$ )。

### 3 讨论

衰老与各种生物学变化有关, 随着年龄增长, 导致心血管、骨骼肌和内分泌系统等的进行性衰退<sup>[34-35]</sup>, 易发生诸多老年疾病。有氧联合抗阻的训练方式是预防心脑血管疾病和代谢紊乱最有效的方法之一<sup>[36]</sup>。目前基于定量分析结果综合评价 CT 对 T2DM 患者糖脂代谢影响的研究较少。本文依据 5 个结局指标的变化情况, 分析 CT 对中老年 T2DM 患者糖脂代谢的影响。Meta 分析结果显示, 在已经确诊的中老年 T2DM 患者中, CT 相比于 AT 显著改善了 T2DM 患者 FBG、HbA1c、TC, 在 BMI 和 TG 中没有显著差异。同时, 通过亚组分析可以发现, AT 联合中高强度的 RT 时, 糖代谢指标呈现非常显著的差异, 而联合中低强度的 RT 时, 所有结局指标均无显著差异。

T2DM 患者普遍存在肌肉量下降较快的问题, CT 在改善患者心肺功能的同时提高肌肉质量, 提高胰岛素敏感性, 有助于维持血糖稳定<sup>[37]</sup>。AT 在降低体脂方面优于 CT, 但对血糖的控制并不理想<sup>[13, 38]</sup>。这和谷崎<sup>[13]</sup>得出的结论一致, 研究认为胰岛素的敏感性与肌肉量成正比, 以肌肥大为主的大强度力量训练联合 AT 比以肌耐力为主的力量训练联合 AT 对改善血糖更为有益。而 Macleod 等人<sup>[39]</sup>得出不一样的结论, 不同类型的运动均可以降低餐后血糖, 但 FBG 没有显著差异。可能原

因是短期运动 ( $\leq 2$  周) 仅能改善外周胰岛素敏感性, 而不影响肝脏胰岛素敏感性或内源性葡萄糖生成。空腹高血糖被认为与肝脏胰岛素抵抗的增加关系更密切, 而餐后高血糖与骨骼肌胰岛素抵抗相关<sup>[40]</sup>。

HbA1c 水平每升高 1%, 脑血管疾病的相对风险增加 1.18%, 而 HbA1c 水平每降低 1%, 微血管并发症减少 37%, 心肌梗死减少 14%<sup>[41]</sup>。此外, 降低 T2DM 患者的 HbA1c 可降低 5%~17% 的冠心病绝对风险和 6%~15% 的全因死亡率<sup>[42]</sup>。Pan 等人<sup>[31]</sup>和 Schwingshackl 等人<sup>[43]</sup>的研究发现 CT 降低 HbA1c 的水平高于 AT, 这一变化与本次研究中 CT 的 HbA1c 水平变化相似, 证实了 CT 对血糖控制的协同作用。针对 T2DM 患者, 增加训练强度可以缩短每周总的训练时间, 如 Balducci 等人<sup>[44]</sup>的研究中提到的, 每周进行 2 次持续 60 min 的强化干预训练, 就可以将 HbA1c 降低到有临床意义的程度。Umpierre 等人<sup>[32]</sup>的剂量—反应荟萃回归分析总结了 CT、AT 和 RT 对 T2DM 患者血糖控制的影响, 并得出以下结论, HbA1c 的降低与 AT 的运动频率相关, 与每周 RT 训练容量相关。关于最佳剂量, Umpierre 推测 AT 联合 RT 的训练方式中, RT 产生效果的前提是 AT 的训练量达到一定阈值 (33 min/次)。RT 的能量消耗不仅受组数、重复次数、休息间隔和训练负荷的影响, 还取决于所做功的肌肉群的组合 (例如, 大肌肉群参与的运动消耗的能量更大), 较低强度的 RT 可能无法对 T2DM 患者产生实质性的帮助。另一方面, T2DM 患者通常伴有肥胖的问题, 此类人的低度代谢性炎症可引起神经机制 (如下丘脑—垂体—肾上腺轴) 的改变, 进而损害个体认知能力, 认知障碍进一步弱化个人参与自我管理活动和维持治疗生活方式的动机和能力<sup>[45]</sup>, 所以有监督地执行训练计划对 T2DM 患者改善各项生理指标有显著的效果。Oliveira 等人<sup>[33]</sup>发现, 对 CT 的训练安排, 将 AT 和 RT 安排在不同日子可能对血糖起到更好的控制效果。未来有待对训练方案提出进一步的优化。

80% 的 T2DM 患者存在向心性肥胖<sup>[46]</sup>, 过多的腹部脂肪与心血管疾病密切相关, 且死于心血管疾病的风险高健康人 2~4 倍<sup>[47]</sup>。本次研究发现, 运动对 BMI 无法起到有效的控制, 这与以往 Meta 分析结果一致<sup>[48]</sup>。当 T2DM 患者有 20 年以上的病程时, 运动训练降低 BMI 的效果显著下降甚至无效。针对病程较长的患者可以考虑拉长训练周期, 提高单次的训练时长。其他研究认为运动可以降低 T2DM 患者 BMI, 部分发现

表 2 不同强度 RT 对糖脂代谢的影响

结局指标	分组	SMD/MD(95%CI)	$I^2(\%)$	$p$	SMD/MD 测试的 $p$
FBG	HRT	-0.46[-0.75, -0.16]	2	0.38	0.002 0
	LRT	-0.16[-0.42, 0.10]	0	0.43	0.240 0
HbA1c	HRT	-0.58[-0.92, -0.24]	0	0.42	0.000 8
	LRT	-0.14[-0.38, 0.10]	0	0.75	0.250 0
BMI	HRT	0.27[-1.20, 1.73]	11	0.34	0.720 0
	LRT	0.17[-1.26, 1.60]	0	0.45	0.810 0
TC	HRT	-0.46[-0.90, -0.02]	53	0.09	0.040 0
	LRT	-0.18[-0.50, 0.13]	8	0.36	0.250 0
TG	HRT	-0.14[-0.37, 0.09]	0	0.75	0.240 0
	LRT	-0.20[-0.50, 0.10]	0	0.87	0.180 0

AT 对降低 BMI 的效果优于 CT<sup>[49]</sup>,造成这种差异的原因可能是,AT 减少内脏脂肪的效率更高,内脏脂肪是游离脂肪酸的重要来源,游离脂肪酸优先于葡萄糖被氧化,从而达到减肥的效果<sup>[38]</sup>。但部分研究得出与之相反的结论<sup>[45]</sup>,可能与训练方式和实验对象均为超重肥胖人群有关,Hou 等人<sup>[50]</sup>进一步提出,CT 可以有效降低皮下和内脏脂肪,并且减脂效果和训练周期长短有关,短期运动无法显著降低 BMI<sup>[51]</sup>。

本次研究发现,运动对改善 T2DM 患者脂代谢效果不佳。提高 RT 的训练强度时 CT 对 TC 有显著效果;针对 TG,降低 RT 的训练强度会更加有效,但均没有显著效果,但另有研究认为 CT 能有效降低 TG<sup>[43]</sup>。Pan 等人<sup>[31]</sup>提出,有监督的 RT 或者 AT 在降低 TC 上相对于 CT 有更加显著的效果。美国运动医学学院和美国糖尿病协会联合声明,运动无法降低 TC 和 TG<sup>[52]</sup>。造成这种差异的可能原因是实验设计、训练安排和人群的不同导致的。由于 RT 在改善血脂水平上与 AT 存在机制差异,提高运动量可能是改善 T2DM 患者血脂水平的重要因素<sup>[33]</sup>,并且多种形式的运动和训练强度混合最为有效<sup>[43]</sup>。部分研究表明,减肥可能是 T2DM 患者降低 TG 和 TC 的最好办法<sup>[53]</sup>。

研究局限与启示: 纳入的文献存在一些方法学上的局限性,可能会引入偏倚;研究间虽异质性较低,但在训练计划安排、饮食和药物治疗等方面存在差异,可能导致结局指标存在误差;部分研究的样本量较少,对于评估干预特定指标可能会产生一定的偏差,影响研究结果。CT 是一个复杂的研究领域,不同变量之间的相互作用均可能诱发机体对训练的不同适应,未来有必要针对此类问题进行进一步分析。考虑 RT 和 AT 在训练中依照不同顺序,训练安排在同一天或隔天进行,合并使用非药物治疗和药物治疗等对 T2DM 患者的影响。

## 参考文献:

- [1] 健康中国行动推进委员会.健康中国行动(2019—2030年):总体要求、重大行动及主要指标[J].中国循环杂志,2019,34(9):846-858.
- [2] 王丽敏,陈志华,张梅,等.中国老年人群慢性病患病状况和疾病负担研究[J].中华流行病学杂志,2019,40(3):277-283.
- [3] 杨剑,吴媛,田石榴.中老年 2 型糖尿病有氧运动干预的 Meta 分析[J].沈阳体育学院学报,2020,39(1):68-79.
- [4] SCHNEIDER V M, FRANK P, FUCHS S C, et al. Effects of recreational sports and combined training on blood pressure and glycated hemoglobin in middle-aged and older adults: A systematic review with meta-analysis[J]. Exp Gerontol, 2021, 154: 111549. DOI: 10.1016/j.exger.2021.111549.
- [5] 刘静,邱芬,邱卓英.世界卫生组织身体活动政策和指南的架构与核心内容研究[J].中国康复理论与实践,2021,27(12):1402-1411.
- [6] KANALEY J A, COLBERG S R, CORCORAN M H, et al. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine[J]. Med Sci Sports Exerc, 2022, 54(2): 353-368.
- [7] 张美珍,黄涛,李方晖.运动是良医还是什么?“生命过程中的体力活动与健康”国际研讨会综述[J].体育学刊,2017,24(2):140-144.
- [8] GREGORY J M, MULDOWNNEY J A, ENGELHARDT B G, et al. Aerobic exercise training improves hepatic and muscle insulin sensitivity, but reduces splanchnic glucose uptake in obese humans with type 2 diabetes[J]. Nutrition & Diabetes, 2019, 9(1):25. DOI: 10.1038/s41387-019-0090-0.
- [9] MIYAMOTO-MIKAMI E, SATO K, KURIHARA T, et al. Endurance Training-Induced Increase in Circulating Irisin Levels Is Associated with Reduction of Abdominal Visceral Fat in Middle-Aged and Older Adults[J]. PLOS ONE, 2015, 10(3): e0120354. DOI: 10.1371/journal.pone.0120354.
- [10] ZHANG H, TONG T K, KONG Z, et al. Exercise training-induced visceral fat loss in obese women: The role of training intensity and modality[J]. Scand J Med Sci Sports, 2021, 31(1): 30-43.
- [11] HOUSTON D K, NEIBERG R H, MILLER M E, et al. Physical Function Following a Long-Term Lifestyle Intervention Among Middle Aged and Older Adults With Type 2 Diabetes:The Look AHEAD Study[J]. The Journals of Gerontology: Series A, 2018, 73(11): 1552-1559.
- [12] LEE A S, JOHNSON N A, MCGILL M J, et al. Effect of High-Intensity Interval Training on Glycemic Control in Adults With Type 1 Diabetes and Overweight or Obesity: A Randomized Controlled Trial With Partial Crossover[J]. Diabetes Care, 2020, 43(9): 2281-2288.
- [13] 谷崎.有氧运动联合不同抗阻训练对老年 T2DM 患者血糖及血脂代谢的影响[J].西安体育学院学报,2021,38(6):735-740.
- [14] CODELLA R, IALACQUA M, TERRUZZI I, et al. May the force be with you: why resistance training is essential for subjects with type 2 diabetes mellitus without complications[J]. Endocrine, 2018, 62(1): 14-25.
- [15] 孟晴,陈伟,张明.有氧联合抗阻运动对 2 型糖尿病患者效果[J].中国康复理论与实践,2018,24(12):1465-1470.
- [16] HIGGINS J P, THOMPSON S G, DEEKS J J, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses[J]. Bmj, 2003, 327(7414): 557-560.
- [17] ENG C, KRAMER C K, ZINMAN B, et al. Glucagon-like peptide-1 receptor agonist and basal insulin combination treatment for the management of type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis[J]. Lancet, 2014, 384(9961): 2228-2234.
- [18] AMINILARI Z, FARAROU EI M, AMANAT S, et al. The Effect of 12 Weeks Aerobic, Resistance, and Combined Exercises on Omentin-1 Levels and Insulin Resistance among Type 2 Diabetic Middle-Aged Women[J]. Diabetes Metab J, 2017, 41(3): 205-212.
- [19] BANITALEBI E, FARAMARZI M, NASIRI S, et al. Effects of different exercise modalities on novel hepatic steatosis indices in overweight women with type 2 diabetes[J]. Clin Mol Hepatol, 2019, 25(3): 294-304.
- [20] LIU H G, LI G Z. The therapeutic effect of aerobic exercise with resistance training in elderly men with type 2 diabetes mellitus[J]. Chinese Journal of Applied Physiology, 2016, 32(6): 529-532.
- [21] JORGE M L, DE OLIVEIRA V N, RESENDE N M, et al. The effects of aerobic, resistance, and combined exercise on metabolic control, inflammatory markers, adipocytokines, and muscle insulin signaling in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Metabolism, 2011, 60(9): 1244-1252.
- [22] KADOGLU N P, FOTIADIS G, KAPELOUZOU A, et al. The differential anti-inflammatory effects of exercise modalities and their association with early carotid atherosclerosis progression in patients

- with type 2 diabetes[J]. *Diabet Med*, 2013, 30(2): 41–50.
- [23] LAMBERS S, VAN LAETHEM C, VAN ACKER K, et al. Influence of combined exercise training on indices of obesity, diabetes and cardiovascular risk in type 2 diabetes patients[J]. *Clin Rehabil*, 2008, 22(6): 483–492.
- [24] MEHDIZADEH A, HAMZEZADEH S, TOFIGHI A. Investigation of Plasma Visfatin Changes in Women with Type 2 Diabetes followed by Endurance, Resistance and Combined Exercise: The Role of Lipid Profile, Glycemic Indices and Insulin Resistance[J]. *Journal of Diabetes & Metabolism*, 2016, 7(9): 703. DOI: 10.4172/2155–6156.1000703.
- [25] SABOURI M, HATAMI E, POURNEMATI P, et al. Inflammatory, antioxidant and glycemic status to different mode of high-intensity training in type 2 diabetes mellitus[J]. *Mol Biol Rep*, 2021, 48(6): 5291–5304.
- [26] SIGAL R J, KENNY G P, BOULE N G, et al. Effects of aerobic training, resistance training, or both on glycemic control in type 2 diabetes – A Randomized trial[J]. *Annals of Internal Medicine*, 2007, 147(6): 357–369.
- [27] YAVARI A, NAJAFIPOOR F, ALIASGARZADEH A, et al. EFFECT OF AEROBIC EXERCISE, RESISTANCE TRAINING OR COMBINED TRAINING ON GLYCAEMIC CONTROL AND CARDIOVASCULAR RISK FACTORS IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES[J]. *Biology of Sport*, 2012, 29(2): 135–143.
- [28] 常凤. 中年 2 型糖尿病患者有氧运动结合原地深蹲抗阻训练方案及其干预效果研究[J]. *中国全科医学*, 2018, 21(24): 2980–2986.
- [29] 毛立伟, 余萍, 季鹏. 有氧联合抗阻运动对冠心病合并 2 型糖尿病患者影响的观察[J]. *中国心血管杂志*, 2016, 21(6): 442–446.
- [30] 许聿新, 井庆平, 赵翠红. 有氧联合抗阻运动对老年 2 型糖尿病患者氧化应激及糖脂代谢的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2019, 34(3): 591–593.
- [31] PAN B, GE L, XUN Y Q, et al. Exercise training modalities in patients with type 2 diabetes mellitus: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2018, 15(1): 72. DOI: 10.1186/s12966–018–0703–3.
- [32] UMPIERRE D, RIBEIRO P A B, SCHAAN B D, et al. Volume of supervised exercise training impacts glycaemic control in patients with type 2 diabetes: a systematic review with meta-regression analysis[J]. *Diabetologia*, 2013, 56(2): 242–251.
- [33] CHUDYK A, PETRELLA R J. Effects of exercise on cardiovascular risk factors in type 2 diabetes: a meta-analysis[J]. *Diabetes Care*, 2011, 34(5): 1228–1237.
- [34] VAN DEN BELD A W, KAUFMAN J M, ZILLIKENS M C, et al. The physiology of endocrine systems with ageing[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2018, 6(8): 647–658.
- [35] BUFORD T W. Hypertension and aging[J]. *Ageing Res Rev*, 2016, 26: 96–111.
- [36] 李冉, 李小京, 胡雪. 同期力量和耐力训练对中老年人骨骼肌适应性影响的 meta 分析[J]. *上海体育学院学报*, 2022, 46(8): 95–106.
- [37] VINETTI G, MOZZINI C, DESENZANI P, et al. Supervised exercise training reduces oxidative stress and cardiometabolic risk in adults with type 2 diabetes: a randomized controlled trial[J]. *Sci Rep*, 2015, 5: 9238. DOI: 10.1038/srep09238.
- [38] 曹若凡, 乔玉成, 朱晨. 不同运动方式辅助干预对 2 型糖尿病患者糖脂代谢的影响[J]. *湖北体育科技*, 2020, 39(12): 1095–1105.
- [39] MACLEOD S F, TERADA T, CHAHAL B S, et al. Exercise lowers postprandial glucose but not fasting glucose in type 2 diabetes: a meta-analysis of studies using continuous glucose monitoring[J]. *Diabetes Metab Res Rev*, 2013, 29(8): 593–603.
- [40] 郑欣, 戚艳艳, 毕丽娜. 吡格列酮二甲双胍联合运动康复对超重或肥胖 2 型糖尿病患者糖脂代谢和胰岛功能的影响[J]. *现代生物医学进展*, 2021, 21(7): 1257–1260.
- [41] UK PROSPECTIVE DIABETES STUDY (UKPDS) GROUP. Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33)[J]. *The Lancet*, 1998, 352(9131): 837–853.
- [42] TEN BRINKE R, DEKKER N, DE GROOT M, et al. Lowering HbA1c in type 2 diabetics results in reduced risk of coronary heart disease and all-cause mortality[J]. *Primary Care Diabetes*, 2008, 2(1): 45–49.
- [43] SCHWINGSHACKL L, MISSBACH B, DIAS S, et al. Impact of different training modalities on glycaemic control and blood lipids in patients with type 2 diabetes: a systematic review and network meta-analysis[J]. *Diabetologia*, 2014, 57(9): 1789–1797.
- [44] BALDUCCI S, ZANUSO S, NICOLUCCI A, et al. Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2010, 20(8): 608–617.
- [45] ZHAO X, HE Q, ZENG Y, et al. Effectiveness of combined exercise in people with type 2 diabetes and concurrent overweight/obesity: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open*, 2021, 11(10): e046252. DOI: 10.1136/bmjopen–2020–046252.
- [46] HELMRICH S P, RAGLAND D R, LEUNG R W, et al. Physical Activity and Reduced Occurrence of Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus[J]. *New England Journal of Medicine*, 1991, 325(3): 147–152.
- [47] SARIKAYA H, FERRO J, ARNOLD M. Stroke prevention—medical and lifestyle measures[J]. *Eur Neurol*, 2015, 73(3–4): 150–157.
- [48] 吴志建, 王竹影, 宋彦李青. 不同运动处方对 2 型糖尿病患者改善效果的 meta 分析[J]. *中国体育科技*, 2017, 53(1): 73–82.
- [49] 王光旭, 王兴, 陈新丽. 不同形式运动对 2 型糖尿病患者糖化血红蛋白百分比和部分体成分影响的 Meta 分析[J]. *体育科学*, 2016, 36(10): 56–66.
- [50] HOU Y, LIN L, LI W, et al. Effect of combined training versus aerobic training alone on glucose control and risk factors for complications in type 2 diabetic patients: a meta-analysis[J]. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 2015, 35(4): 524–532.
- [51] THAANE T, MOTALA A A, MCKUNE A J. Effects of Short-Term Exercise in Overweight/Obese Adults with Insulin Resistance or Type 2 Diabetes[J]. *A Systematic Review of Randomized Controlled Trials*, 2018, 9(12): 1–5.
- [52] COLBERG S R, SIGAL R J, FERNHALL B, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(12): 147–167.
- [53] ZANUSO S, JIMENEZ A, PUGLIESE G, et al. Exercise for the management of type 2 diabetes: a review of the evidence[J]. *Acta Diabetol*, 2010, 47(1): 15–22.