·循证医学·

有氧联合抗阻运动与单纯有氧运动改善不同人群血糖与胰岛素抵抗效果的差异比较:meta分析

魏建翔[1,2] 何玉秀[1,2] 刘 阳[1,2,3]

目前,全球糖尿病人数逐年增加,根据国际糖尿病联盟(International Diabetes Federation,IDF)统计,截止2019年全球患病人数已超过4.63亿,预计2045年增加到7亿。糖尿病患者中2型糖尿病居多,可达90%以上[1]。2型糖尿病主要表现为高血糖,持续高血糖可造成糖脂代谢紊乱,影响器官功能,严重危害健康。

有氧运动(aerobic training,AT)是预防与治疗2型糖尿病的重要手段[2—3]。AT形式多样、强度低、易坚持、安全性高,是临床常采用的干预手段。研究证明,AT可改善糖尿病患者空腹血糖(fasting blood glucose,FBG)、空腹胰岛素水平(fasting insulin,FINS)、血脂和体成分[4—6],促进心血管健康、提高心肌、骨骼肌和肝脏机能[7—8]。骨骼肌机能与胰岛素抵抗密切相关,抗阻运动可增加骨骼肌体积和质量。近年来广泛应用的有氧联合抗阻运动(combination of aerobic and resistance training,ART)可能在改善糖尿病患者机能状态有更佳效果[9—10]。

FBG,FINS以及胰岛素抵抗指数(homeostasis model assessment-insulin resistance,HOMA-IR)是2型糖尿病诊断的重要依据。数个研究发现,ART改善FBG、FINS、HOMA-IR等指标的效果更佳[12,24],但也有研究显示ART较AT效果无差异[19]。上述研究间相互矛盾的结果提示,ART与AT改善胰岛素抵抗的效果是否存在差异,可能会受到不同试验设计、受试者和训练方案等因素影响。有必要通过meta分析合并各研究的相关数据,探讨两种训练方法的总体差异,并进一步寻找影响ART与AT效果差异的因素。

1 资料与方法

1.1 文献检索

本研究根据PRISMA声明进行。以“concurrent”、“plus”、“combine”、“exercise”、“training”、“aerobic”、“resistance”、“insulin”为关键词,检索Web of science、PubMed、Embase数据库;以“有氧运动”“有氧联合抗阻”“胰岛素”为关键词,检索中国知网、万方数据库。最后检索时间为2019年12月25日。

1.2 纳入与排除标准

纳入标准:①研究含AT及ART干预;②长期运动干预;③结局指标包括FBG、FINS、HOMA-IR;④以平均数±标准差或标准误表示。

排除标准:①急性和短期干预;②对象为妊娠期;③未提供标准差或标准误;④非中英文文献。

1.3 数据提取

由两名人员根据文献纳入和排除标准,采用独立平行方式进行筛选与提取。内容包括标题、作者、样本量、年龄、运动方案、患病情况、BMI、血脂及FBG、FINS、HOMA-IR。

1.4 质量评估

文献质量采用Cochrane Handbook标准对纳入研究的质量进行评估。该标准包括7个问题,每个问题三种选项:“low risk”、“unclear risk”、“high risk”,对文献质量做出总体评估。文献质量分为低度、中度和高度偏倚。

1.5 统计学分析

采用Revman 5.3软件对指标进行分析。本研究中数据为连续型变量,均以平均数±标准差进行统计,并计算95%置信区间。使用I^2评价研究间异质性,I^2<25%为无异质性,25%≤I^2 < 50%为轻度异质性,50%≤I^2 < 75%为中度异质性,I^2≥75%为重度异质性。I^2≤50%采用固定效应模型;I^2 > 50%采用随机效应模型。采用漏斗图和Stata14.0进行发表偏倚检验,逐一排除法进行敏感性分析。

2 结果

2.1 文献检索

共筛出732篇文献,剔除重复剩余636篇,阅读题目摘要剩余18篇,阅读全文确定12项研究[16—27]进行meta分析。流程见图1。

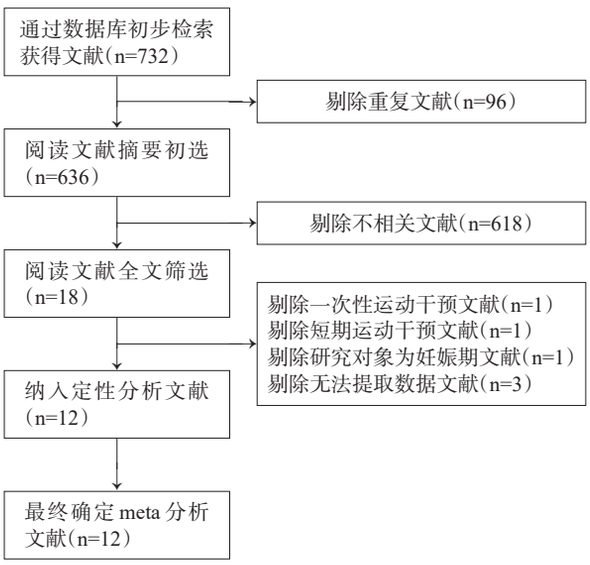
2.2 文献基本特征

纳入12篇研究进行meta分析,纳入总人数508例,AT 249例,ART 259例。包括训练方案干预时间、年龄、患病情

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2021.08.015

1 河北师范大学,河北省石家庄市,050024; 2 河北省人体运动生物信息测评重点实验室; 3 通讯作者
第一作者简介:魏建翔,男,硕士研究生; 收稿日期:2020-02-10

图1 文献检索及筛选流程

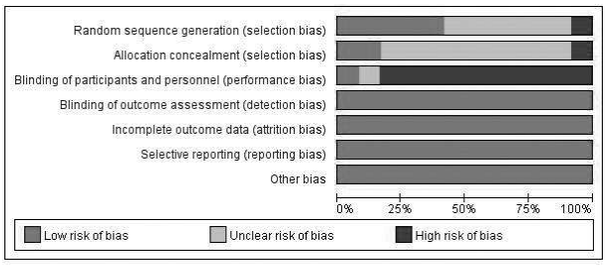


况、FBG、FINS、HOMA-IR等。见表1。

2.3 质量评价

纳入研究的质量评价见图2。各研究中结果评估的盲目性、结果完整性、选择性报告、其他偏倚的风险较小,但随机分配、分配隐藏和受试者盲法存在风险。可能是由于运动训练形式间差异较大,人员和场地不充足,无法彻底贯彻受试者盲法。总的来看,除盲法外各偏倚风险控制较好,其中1篇低偏倚风险,11篇中等偏倚风险。

图2 纳入文献质量评价



2.4 meta分析结果

2.4.1 AT与ART对FBG的影响:ART与AT对FBG干预效果的差异见图3。由于各研究对FBG的测量单位不同,采用标准化均数差(SMD)表示。结果显示ART合并效应量高于AT,且具有显著性[SMD=0.33,95%CI为(0.07, 0.59),Z检验$P<0.05$]。各研究间具有低度异质性(I^2=43%)。

2.4.2 AT与ART对FINS的影响:ART与AT对FINS干预效果的差异见图4。由于各研究对FINS的测量单位不同,采用SMD表示。结果显示ART合并效应量高于AT,且具有显著性[SMD=0.52,95%CI为(0.30, 0.75),Z检验$P<0.05$]。各研究间无异质性(I^2=0%)。

2.4.3 AT与ART对HOMA-IR的影响:ART与AT对HOMA-IR干预效果的差异见图5。由于各研究对HOMA-IR的测量单位相同,采用平均值(MD)表示。结果显示ART合并效应量高于AT,且具有显著性[MD=0.44,95%CI为(0.20, 0.68),Z检验$P<0.05$]。各研究间无异质性(I^2=23%)。

2.4.4 亚组分析:中国2型糖尿病防治指南2017版指出:BMI、年龄、生活方式、体力活动水平以及血脂异常均与糖尿病有关。此外有研究显示[38],运动改善糖尿病患者的血糖和胰岛素抵抗与运动强度相关。为探寻不同受试者特征和运动方案对AT与ART改善胰岛素抵抗效果的影响,故进行亚组分析,划分标准:①运动时间:≤45min和>45min;②基础BMI:肥胖或超重[29];③年龄:青少年或中老年[30];④患病情况:糖尿病、高血压、心绞痛与非患病;⑤血脂[31]:正常、高于正常或低于正常;⑥基础FBG、FINS、HOMA-IR情况:正常、较高或高。⑦运动强度:依据美国运动医学会强度标准制定。因TC均处正常范围内,不进行划分。混合运动指提供多种运动方式自由选择。

①FBG亚组分析:有氧运动强度亚组中,较高强度I^2=52%,合并效应量=0.31,95%CI(0.00,0.62),且有显著差异($P<0.05$);抗阻运动强度亚组中,中等强度I^2=48%,合并效应量=0.30,95%CI(0.01,0.58),且有显著差异($P<0.05$);运动时间亚组中,>45min,I^2=46%,合并效应量=0.31,95%CI(0.02,0.60),且有显著差异($P<0.05$);BMI亚组中,肥胖I^2=50%,合并效应量=0.40,95%CI(0.00,0.80),且有显著差异($P<0.05$);患病情况亚组中,非患病I^2=36%,合并效应量=0.36,95%CI(0.02,0.69),且有显著差异($P<0.05$);其中基础FBG的不同并不能影响结果。其他无差异。见表2。

②FINS亚组分析:有氧运动强度亚组中,较高强度I^2=0%,合并效应量=0.57,95%CI(0.33,0.81),且有显著差异($P<0.05$);抗阻运动强度亚组中,中等强度I^2=0%,合并效应量=0.58,95%CI(0.34,0.82),且有显著差异($P<0.05$);运动方式亚组中,跑步I^2=0%,合并效应量=0.54,95%CI(0.28,0.81),且有显著性差异($P<0.05$);患病情况亚组中,非患病I^2=0%,合并效应量=0.50,95%CI(0.25,0.76),且有显著差异($P<0.05$),心绞痛合并效应量=0.71,95%CI(0.12,1.30),且有显著性差异($P<0.05$)。LDL-C亚组中,正常I^2=0%,合并效应量=0.62,95%CI(0.30,0.94),且有显著性差异;基础FINS亚组中,较高I^2=0%,合并效应量=0.54,95%CI(0.29,0.79),且有显著差异($P<0.05$)。运动时间、BMI及年龄亚组中均显示有差异($P<0.05$),其他无差异。见表3。

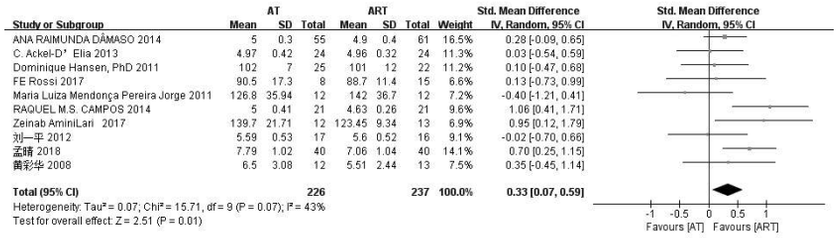
③HOMA-IR亚组分析:有氧运动强度亚组中,较高强度I^2=36%,合并效应量=0.49,95%CI(0.28,0.71),且有显著差异

表1　纳入文献的基本特征

纳入研究及年份	样本量（AT组；ART组）	干预时间	年龄	患病情况	FBG FINS HOMA-IR	BMI	TC	TG	HDL-C	LDL-C	干预措施								结局指标
											AT		ART						
											强度	时间	AT		RT				
													强度	时间	强度	时间	组数	次数	
Damaso AR等[16] 2014	55；61	1年	青少年	无	正常 高 高	肥胖	正常	正常	正常	正常	50%—70% VO_{2peak}	60 min	50%—70% VO_{2peak}	30 min	无显示	30 min	3组	15—20次/组，6—20次/组	BMI、insulin、glycemia、HOMA-IR、TC、TG、HDL-C、LDL-C
C.Ackel等[17] 2013	24；24	6月	青少年	无	正常 高 高	肥胖	无	无	无	无	50%—70% VO_{2peak}	60 min	50%—70% VO_{2peak}	30 min	无显示	30 min	3组	15—20次/组，6—20次/组	BMI、glycemia、HOMA-IR
Hansen D等[18] 2011	25；22	6周	中老年	心绞痛	稍高 正常 正常	肥胖	正常	正常	正常	正常	65% VO_{2peak}	40 min	65% VO_{2peak}	+抗阻共40 min	65% RM	+有氧共40 min	2组	12次/组，15次/组，20次/组，2周递增	insulin、glycemia、HOMA-IR、TC、TG、HDL-C、LDL-C
Rossi FE等[19] 2017	8；15	16周	中老年	无	正常 正常 正常	无	正常	正常	正常	高于	100% 无氧阈	50 min	100% 无氧阈	30 min	15RM；12RM；8RM，4周递减	30 min	3组	15次/组，12次/组；10次/组；8次/组，4周递减	insulin、glycemia、HOMA-IR、TC、TG、HDL-C、LDL-C
Lima L等[20] 2017	15；14	10周	中老年	高血压	无显示 无显示 正常	超重	无	无	无	无	无显示	20min或30min	无显示	20min或30min	50%—60% RM	无显示	无显示	上肢15次/组，躯干下肢20次/组	BMI、HOMA-IR
Jorge ML等[21] 2011	12；12	12周	中老年	糖尿病	高 无显示 正常	肥胖	无	正常	正常	正常	乳酸阈强度	60 min	乳酸阈强度	30 min	无显示	30 min	无显示	无显示	BMI、glycemia、HOMA-IR、TG、HDL-C、HbA1c
Soori R等[22] 2017	8；8	10周	中老年	无	无显示 无显示 正常	肥胖	高于	正常	正常	高于	40% HR_{max}，每2周加5%	45 min	40% HR_{max}，每2周加5%	22.5 min	40%逐增到60% RM	22.5 min	2组	10—12次/组	BMI、HOMA-IR、TC、TG、HDL-C、LDL-C
Campos RM等[23] 2014	21；21	1年	青少年	无	正常 高 高	肥胖	无	无	无	无	50%—70% VO_{2peak}	60 min	50%—70% VO_2peak	30 min	15—20RM或6—20RM	30 min	3组	15—20次或6—20次	BMI、insulin、glycemia、HOMA-IR
Zeinab等[24] 2017	12；13	12周	中老年	糖尿病	高 高 高	超重	无	无	无	无	50%—55% HR_{max}，2周加5%	25min 2周加5min	50%—55% HR_{max}，2周加5%	25min，2周加5min	50%—55% RM，2周增加5%	无显示	1.5组	8次/组	BMI、insulin、glycemia、HOMA-IR
刘一平等[25] 2012	17；16	24周	中老年	糖尿病	稍高 无显示 高	超重	无	无	无	无	60%—70%HR_{max}	60 min	60%—70% HR_{max}	+抗阻共60min	15—20RM	+有氧共60min	2—3组	15—20次/组	FPG、HOMA-IR、BMI
孟晴等[26] 2018	40；40	3月	中老年	糖尿病	高 无显示 高	超重	无	无	无	无	50%—80%HHR	30min逐增至60min	50%—80% HHR	+抗阻由30min逐增至60min	自主感觉量表12—13分	+有氧由30min逐增至60min	2—4组	10次/组	FPG、HOMA-IR
黄彩华等[27] 2008	12；13	24周	中老年	无	稍高 高 高	肥胖	无	无	无	无	60%—70%HR_{max}	50 min	60%—70% HR_{max}	30 min	25RM	20 min	2—3组	25次/组	insulin、glycemia、HOMA-IR、BMI

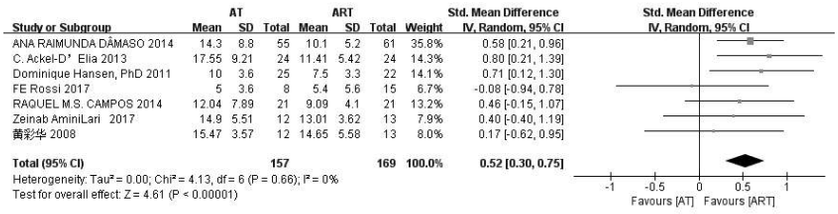
注：BMI：身体质量指数；TG：甘油三酯；TC：总胆固醇；HDL-C：高密度脂蛋白；LDL-C：低密度脂蛋白。

图3 ART与AT对FBG干预效果的差异



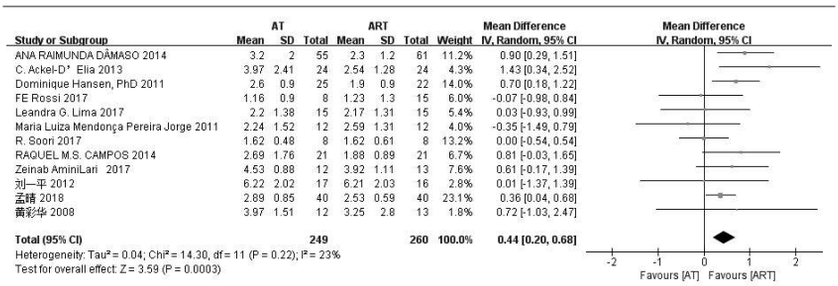
AT:有氧运动;ART:有氧联合抗阻运动;FBG:空腹血糖

图4 ART与AT对FINS干预效果的差异



AT:有氧运动;ART:有氧联合抗阻运动;FINS:空腹胰岛素水平

图5 ART与AT对HOMA-IR干预效果的差异



AT:有氧运动;ART:有氧联合抗阻运动;HOMA-IR:胰岛素抵抗指数

($P<0.05$);抗阻运动强度亚组中,中等强度I^2=30%,合并效应量=0.44,95%CI(0.24,0.65),且有显著差异($P<0.05$);运动方式亚组中,跑步I^2=34%,合并效应量=0.57,95%CI(0.11,1.03),且有显著性差异($P<0.05$),混合运动I^2=0%,合并效应量=0.46,95%CI(0.19,0.73),且有显著差异($P<0.05$);运动时间亚组中,>45min,I^2=29%,合并效应量=0.50,95%CI(0.15,0.84),且有显著差异($P<0.05$);患病情况亚组中,糖尿病组I^2=0%,合并效应量=0.33,95%CI(0.05,0.62),且有显著性差异($P<0.05$),心绞痛合并效应量=0.70,95%CI(0.18,1.22),且有显著性差异($P<0.05$);LDL-C亚组中,正常组合并效应量=0.59,95%CI(0.05,1.14),且有显著差异($P<0.05$);基础HOMA-IR亚组中,较高I^2=2%,合并效应量=0.56,95%CI(0.31,0.81),且有显著差异($P<0.05$);运动BMI和年龄亚组中均有差异($P<0.05$),其他无差异。见表4。

2.5 敏感性分析

对纳入FBG、FINS和HOMA-IR指标的文献进行个剔除法寻找异质性来源,逐一剔除后结果均无超过原95% CI。此外,纳入的12篇文献中有3篇文献不满足随机对照研究条件,文献质量相对较差,采用逐一剔除发进行敏感性分析,结果发现并无明显变化,说明总体评分统计结果较为稳健。

2.6 偏倚性分析

漏斗图是检测发表型偏倚的常用方法[32]。对各指标进行漏斗图分析后显示,FBG、FINS、HOMA-IR成漏斗状,表示可能不存在发表偏倚。随后采用Stata14.0进行Egger检验后发现,FBG、FINS不存在偏倚($P>0.05$),而HOMA-IR存在偏倚($P<0.05$)。见图6。

3 讨论

糖尿病是进展型慢性疾病,因此控制糖尿病的发生发展尤为重要。运动不足是导致糖尿病发病率逐年增高的因素之一[33]。中国2型糖尿病防治指南[34]指出,规律运动可降低死亡率,ACSM推荐糖尿病患者进行规律的AT干预。但越来越多研究证明,ART也可改善代谢综合征、血脂及胰岛素抵抗,且ART效果更好,因此有学者建议糖尿病患者进行ART干预[35—36]。但不同运动方式改善胰岛素抵抗的效果存在差异。

3.1 ART改善FBG的效果更佳,且与运动时间、年龄、BMI密切相关

FBG是胰岛素敏感性降低的重要性指标。有报道显示[37],糖耐量降低的人群中有40%在5—10年内形成2型糖尿病。运动作为治疗糖尿病的5驾马车之一,被大家所采用。但不同运动方式改善FBG的效果存在争议。本研究结果显示,ART的合并效应量高于AT($P<0.05$,I^2=43%)。说明ART改善FBG的效果更好。ART能增加骨骼肌质量和体积,提高骨骼肌对葡萄糖的摄取,且运动后维持较长的时间,更利于控制血糖[26]。AT改善FBG主要通过减少体脂,促进骨骼肌对葡萄糖摄取与胰岛素分泌[28]。因此ART改善FBG的效果优于AT。

亚组分析得出,当有氧运动强度为"较大"时,ART的合并效应量大于AT($P<0.05$)。说明"较大强度"时,ART对FBG的改善效果更佳。当抗阻运动强度为"中等强度"时,

表2　空腹血糖(FBG)亚组分析

特征	纳入研究数量	SMD,95%CI	I^2	*P*值
有氧运动强度				
中等	3	0.39(-0.17,0.94)	36%	>0.05
较高	7	0.31(0.00,0.62)	52%	<0.05①
抗阻运动强度				
中等	8	0.30(0.01,0.58)	48%	<0.05①
较高	2	0.55(-0.26,1.36)	45%	>0.05
运动方式				
跑步	5	0.30(-0.06,0.65)	44%	>0.05
游泳	0	-	-	-
混合	3	0.10(-0.30,0.51)	0%	>0.05
功率车	2	0.27(-1.06,1.60)	81%	>0.05
运动时间				
≤45min	2	0.47(-0.36,1.30)	63%	>0.05
>45min	8	0.31(0.02,0.60)	46%	<0.05①
BMI				
超重	5	0.33(-0.24,0.90)	65%	>0.05
肥胖	4	0.40(0.00,0.80)	50%	<0.05①
年龄				
青少年	3	0.42(-0.10,0.94)	66%	>0.05
中老年	7	0.29(-0.04,0.62)	38%	>0.05
患病情况				
非患病	5	0.36(0.02,0.69)	36%	<0.05①
糖尿病	4	0.33(-0.24,0.90)	65%	>0.05
心绞痛	1	0.10(-0.47,0.68)	-	>0.05
高血压	0	-	-	-
TG				
正常	4	0.15(-0.13,0.42)	0%	>0.05
高于正常	0	-	-	-
HDL-C				
正常	4	0.15(-0.13,0.42)	0%	>0.05
低于正常	0	-	-	-
LDL-C				
正常	3	0.13(-0.19,0.45)	13%	>0.05
低于正常	1	0.13(-0.73,0.99)	-	>0.05
基础FBG				
正常	4	0.36(-0.05,0.78)	52%	>0.05
较高	3	0.44(-0.28,1.17)	70%	>0.05
稍高	3	0.12(-0.26,0.51)	0%	>0.05

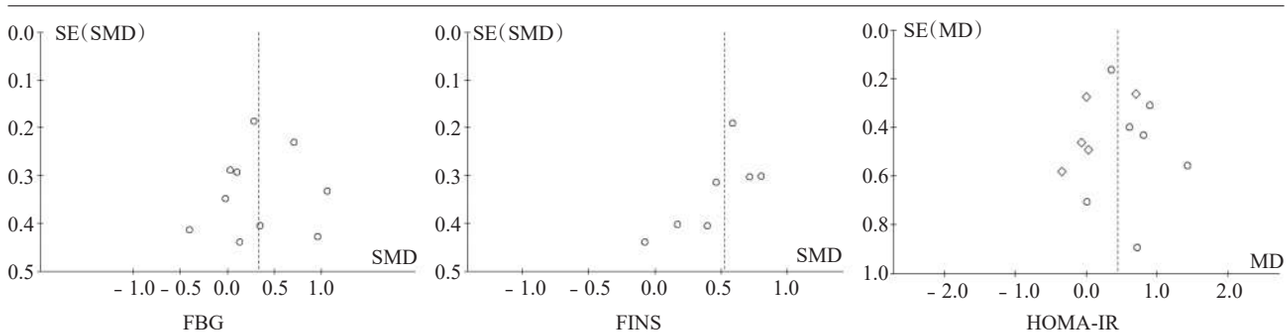
①:*P*<0.05,*Z*检验有显著性;-:亚组划分无显著性差异,不进行亚组分析

表3　空腹胰岛素水平(FINS)亚组分析

特征	纳入研究数量	SMD,95%CI	I^2	*P*值
有氧运动强度				
中等	2	0.28(-0.28,0.84)	0%	>0.05
较高	5	0.57(0.33,0.81)	0%	<0.05①
抗阻运动强度				
中等	5	0.58(0.34,0.82)	0%	<0.05①
较高	2	0.18(-0.40,0.76)	0%	>0.05
运动方式				
跑步	4	0.54(0.28,0.81)	0%	<0.05①
游泳	0	-	-	-
混合	2	0.50(-0.01,1.02)	14%	>0.05
功率车	1	0.40(-0.40,1.19)	-	>0.05
运动时间				
≤45min	2	0.60(0.12,1.07)	0%	<0.05①
>45min	5	0.50(0.25,0.76)	0%	<0.05①
BMI				
超重	3	0.48(0.08,0.89)	0%	<0.05①
肥胖	3	0.61(0.33,0.89)	0%	<0.05①
年龄				
青少年	3	0.61(0.33,0.89)	0%	<0.05①
中老年	4	0.38(0.01,0.75)	0%	<0.05①
患病情况				
非患病	5	0.50(0.25,0.76)	0%	<0.05①
糖尿病	1	0.40(-0.40,1.19)	-	>0.05
心绞痛	1	0.71(0.12,1.30)	-	<0.05①
高血压	0	-	-	-
TG				
正常	3	0.52(0.19,0.86)	15%	<0.05①
高于正常	0	-	-	-
HDL-C				
正常	3	0.52(0.19,0.86)	15%	<0.05①
低于正常	0	-	-	-
LDL-C				
正常	2	0.62(0.30,0.94)	0%	<0.05①
低于正常	1	-0.08(-0.94,0.78)	-	>0.05
基础FINS				
正常	2	0.38(-0.38,1.14)	54%	>0.05
较高	5	0.54(0.29,0.79)	0%	<0.05①

①:*P*<0.05,*Z*检验有显著性;-:亚组划分无显著性差异,不进行亚组分析

图6　纳入研究的漏斗图



ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明“中等强度”时，ART对FBG的改善效果更佳。当“运动时间>45min”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明，当运动时间>45min时，ART改善FBG的效果更佳。当试验对象为“肥胖”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明，当试验对象为“肥胖”时，ART改善FBG的效果更佳。当试验对象为“非患病”组时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明在非患病时，ART改善FBG的效果更佳。但基础FBG并不能影响ART和AT对FBG的结果。

值得注意，患病情况亚组中，“糖尿病”的异质性较高（I^2=65%），进行逐一排除法寻找异质性来源。结果发现，“糖尿病”的异质性来自Maria的研究（抗阻训练无提及强度），这可能是由于强度不同影响试验结果。排除Maria的研究后异质性降为（I^2=50%），即ART改善FBG的效果更佳。

表4 胰岛素抵抗指数（HOMA-IR）亚组分析

特征	纳入研究数量	SMD，95%CI	I^2	P值
有氧运动强度				
中等	4	0.21（-0.20，0.62）	0%	>0.05
较高	8	0.49（0.28，0.71）	36%	<0.05①
抗阻运动强度				
中等	10	0.44（0.24，0.65）	30%	<0.05①
较高	2	0.32（-0.27，0.91）	19%	>0.05
运动方式				
跑步	6	0.57（0.11，1.03）	34%	<0.05①
游泳	1	0.00（-0.54，0.54）	-	>0.05
混合	3	0.46（0.19，0.73）	0%	<0.05①
功率车	2	0.22（-0.70，1.15）	46%	>0.05
运动时间				
≤45min	4	0.36（-0.03，0.75）	29%	>0.05
>45min	8	0.50（0.15，0.84）	34%	<0.05①
BMI				
超重	7	0.40（0.16，0.64）	0%	<0.05①
肥胖	4	0.69（0.09，1.30）	63%	<0.05①
年龄				
青少年	3	0.96（0.51，1.41）	0%	<0.05①
中老年	9	0.31（0.10，0.52）	0%	<0.05①
患病情况				
非患病	6	0.56（0.08，1.04）	49%	<0.05①
糖尿病	4	0.33（0.05，0.62）	0%	<0.05①
心绞痛	1	0.70（0.18，1.22）	-	<0.05①
高血压	1	0.03（-0.93，0.99）	-	>0.05
TG				
正常	5	0.34（-0.12，0.79）	54%	>0.05
高于正常	-	-	-	-
HDL-C				
正常	5	0.34（-0.12，0.79）	54%	>0.05
低于正常	-	-	-	-
LDL-C				
正常	3	0.59（0.05，1.14）	45%	<0.05①
低于正常	2	-0.02（-0.48，0.44）	0%	>0.05
基础FINS				
正常	8	0.18（-0.20，0.57）	34%	>0.05
较高	4	0.56（0.31，0.81）	2%	<0.05①

①：P<0.05，Z检验有显著性；-：亚组划分无显著性差异，不进行亚组分析

总之，meta分析与亚组分析的结果提示，ART运动时间高于45min时，相比AT能更好改善FBG。ART改善空腹血糖效果受运动强度、BMI和患病情况的影响。

3.2 ART改善FINS的效果更佳，且与运动形式、患病情况、LDL-C密切相关

胰岛素是唯一可降血糖的激素，同时还可促进糖原、脂肪及蛋白质合成。FINS是临床检测胰岛素抵抗的常用指标。胰岛素抵抗时机体为维持血糖在正常生理范围，代偿性增加胰岛素分泌，导致血液中胰岛素升高，造成高胰岛素血症。运动可改善胰岛素抵抗，但不同运动方式改善FINS的效果存在争议。本研究结果显示，ART合并效应量高于AT（$P<0.05$，I^2=0%），说明ART改善FINS的效果更佳。ART可增加骨骼肌质量和体积，促进葡萄糖转运体-4（GLUT4）基因及蛋白表达增加，提高葡萄糖转运能力，改善胰岛素抵抗[13]。有研究发现一些脂肪因子与胰岛素抵抗相关[11,27]，肥胖可使其表达降低[14—15]，而运动可提高其表达量，且ART比AT效果更明显[24]。这可能是ART改善FINS效果优于AT的原因。

亚组分析得出，当有氧运动强度为“较大”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明“较大强度”时，ART对FINS的改善效果更佳。当抗阻运动强度为“中等强度”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明“中等强度”时，ART对FINS的改善效果更佳。当运动方式为“跑步”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明“跑步”时，ART对FINS的改善效果更佳。当试验对象为“非患病”和“心绞痛”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明ART改善FINS可能与疾病种类相关，即“非患病”和“心绞痛”时，ART的合并效应量大于AT。当“LDL-C正常”时，ART的合并效应量大于AT（$P<0.05$）。说明LDL-C正常时，ART对FINS的改善效果更佳。当“基础胰岛素”较高时合并效应量有差异（$P<0.05$）。说明基础胰岛素水平处于较高水平时，ART的合并效应量大于AT。

综上所述，meta分析和亚组的结果提示，ART比AT能更好地改善FINS。ART的强度、形式、患者基础患病情况、血脂水平会影响ART对FINS水平的改善效果。

3.3 ART改善HOMA-IR的效果更佳，但研究间存在明显的发表偏倚。

HOMA-IR是临床检测胰岛素抵抗的重要指标。众多研究发现运动可改善胰岛素抵抗，但不同运动方式间存在差异。本试验结果显示，ART合并效应量高于AT（$P<0.05$，I^2=27%）。这提示ART可改善HOMA-IR。HOMA-IR与FBG与FINS相关，可能是由于ART较AT改善FBG和FINS效果更好导致的。值得注意，亚组分析虽在运动强度、运动方式和运动时间等存在差异，但Egger检验存在差异（$P<0.05$），

表示研究间可能存在偏倚。待纳入更多研究后再进行分析。

3.4 局限性

本研究纳入研究间虽异质性较低,但在运动训练方法、时间、强度、频率存在差异,如运动时间在30—60min不等,抗阻运动强度在6—25RM间,可能造成最终测量指标有所误差。其次,本研究仅能收集公开发表的文献,阴性结果的论文往往因得不到重视未能发表,因此可能存在文献发表偏倚。

4 结论

①如要获得更好的空腹血糖改善效果,ART的运动时间需超过45min;②ART相比AT具有更好的改善空腹胰岛素水平的效果;③ART改善空腹血糖效果受运动强度、BMI和患病情况的影响;运动强度、形式、患者基础患病情况、血脂水平会影响ART对空腹胰岛素水平的改善效果。

参考文献

[1] Lebrun C. Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association Joint Position Statement[J]. Medicine & Science in Sports & Exercise, 2010, 42(12):2692—2696.

[2] 王正珍, 王艳. 有氧运动对糖尿病前期人群胰岛素敏感性的影响[J]. 成都体育学院学报, 2013, 39(9):1—13.

[3] Motahari-Tabari N, Ahmad Shirvani M, Shirzad-Ahoodashty M, et al. The effect of 8 weeks aerobic exercise on insulin resistance in type 2 diabetes: a randomized clinical trial[J]. Global Journal of Health Science, 2014, 7(1):115—121.

[4] Sigal RJ. 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.

[5] Moe B, Augestad LB, Bjrn Olav svold, et al. Effects of aerobic versus resistance training on glycaemic control in men with type 2 diabetes[J]. European Journal of Sport Science, 2011, 11(5):365—374.

[6] Bacchi E, Negri C, Zanolin ME, et al. metabolic effects of aerobic training and resistance training in type 2 diabetic subjects: A randomized controlled trial (the RAED2 study) [J]. Diabetes Care, 2012, 35(4):676—682.

[7] Ruffino JS, Davies NA, Morris K, et al. Moderateintensity exercise alters markers of alternative activation in circulating monocytes in females: a putative role for PPARgamma [J]. Eur J Appl Physiol, 2016, 116:1671—1682.

[8] Bao L, Yuan H, Si L, et al. Fat metabolism during exercise: a review. Part I: Fatty acid mobilization and muscle metabolism[J]. International Journal of Sports Medicine, 1998, 19(4):231—244.

[9] Malin SK, Gerber R, Chipkin SR, et al. Independent and combined effects of exercise training and metformin on insulin sensitivity in individuals with prediabetes[J]. Diabetes Care, 2012, 35(1):131—136.

[10] 毛立伟, 余萍, 季鹏, 等. 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.

[11] de Souza Batista CM, Yang RZ, Lee MJ, et al. Omentin plasma levels and gene expression are decreased in obesity [J]. Diabetes, 2007, 56(6):1655—1661.

[12] Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, et al. The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2005, 86(8):1527—1533.

[13] Hansen PA, Nolte LA, Chen MM, et al. Increased GLUT-4 translocation mediates enhanced insulin, sensitivity of muscle glucose transport after exercise[J]. Journal of Applied Physiology, 1998, 85(4):1218—1222.

[14] 杜可新, 匡洪宇. 运动促进2型糖尿病患者骨骼肌葡萄糖摄取机制研究进展[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2016, 30 (10):943—945.

[15] Cai RC, Wei L, Dl JZ, et al. Expression of omentin in adipose tissues in obese and type 2 diabetic patients[J]. Zhonghua Yixue Zazhi, 2009, 89(6):381—384.

[16] Damaso AR, da Silveira Campos RM, Caranti DA, et al. Aerobic plus resistance training was more effective in improving the visceral adiposity, metabolic profile and inflammatory markers than aerobic training in obese adolescents [J]. Journal of Sports Sciences, 2014, 32(15):1—11.

[17] Ackel-D'Elia C, Carnier J, Bueno C, et al. Effects of different physical exercises on leptin concentration in obese adolescents[J]. International Journal of Sports Medicine, 2013, 35(2):164—171.

[18] Hansen D, Eijnde BO, Roelants M, et al. Clinical benefits of the addition of lower extremity low-intensity resistance muscle training to early aerobic endurance training intervention in patients with coronary artery disease: A randomized controlled trial[J]. Journal of Rehabilitation Medicine, 2011, 43(9):800—807.

[19] Rossi FE, Diniz TA, Neves LM, et al. The beneficial effects of aerobic and concurrent training on metabolic profile and body composition after detraining: a 1-year follow-up in postmenopausal women[J]. European Journal of Clinical Nutrition, 2017, 71:638—645

[20] Lima LG, Bonardi JT, Campos GO, et al. Combined aerobic and resistance training: are there additional benefits for older hypertensive adults?[J]. Clinics, 2017, 72(6): 363—369.

[21] Jorge ML, de Oliveira VN, Resende NM, 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-clinical & Experimental, 2011, 60 (9):1244—1252.

[22] Soori R，Rezaeian N，Khosravi N，et al. Effects of water-based endurance training，resistance training，and combined water and resistance training programs on visfatin and ICAM-1 levels in sedentary obese women[J]. Science & Sports，2017，32(3)：144—151.

[23] Campos RM，de Mello MT，Tock L，et al. Aerobic plus resistance training improves bone metabolism and inflammation in adolescents who are obese[J]. The Journal of Strength and Conditioning Research，2013，28(3)：758—766.

[24] Zeinab AL，Mohammad F，Sasan A，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 & metabolism Journal，2017，41(3)：205—212.

[25] 刘一平，王志红，李建卫，等. 不同运动对糖耐量减低者肱动脉内皮功能、胰岛素敏感性的影响[J]. 福建师范大学学报(自然科学版)，2012，3：113—118.

[26] 孟晴，陈伟，张明，等. 有氧联合抗阻运动对2型糖尿病患者的效果[J]. 中国康复理论与实践，2018，24(12)：107—112.

[27] 黄彩华，林建新，高松龄，等. 24周运动后肥胖绝经妇女血清脂联素水平及胰岛素抵抗的变化[J]. 中国运动医学杂志，2008，27(1)：48—51.

[28] 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]. Scientific Reports，2015，5：9238.

[29] Heart N，Institute AB. Clinical guidelines on the identification，evaluation，and treatment of overweight and obesity in adults[J]. American Journal of Clinical Nutrition，1998，98(10)：1178—1191.

[30] World Health Organization. (2012).World Health Day 2012：ageing and health：toolkit for event organizers. World Health Organization[EB/OL]. https://apps.who.int/iris/handle/10665/70840.

[31] Kuhar MB. Executive summary of the third report of the national cholesterol education program (NCEP) expert panel on detection，evaluation，and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) [J]. Circulation，2001，285(19)：2486—2497.

[32] Cochrane，2018. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions[EB/OL]. https://training.cochrane.org/handbook，2018-09.

[33] Venables MC，Jeukendrup AE. Physical inactivity and obesity：links with insulin resistance and type 2 diabetes mellitus.[J]. Diabetes/metabolism Research & Reviews，2010，25 (S1)：S18—S23.

[34] 中华医学会糖尿病学分会. 中国2型糖尿病防治指南(2017年版)[J]. 中国实用内科杂志，2018，38(4)：34—86.

[35] de Mello MT，de Piano A，Carnier J，et al. Long-term effects of aerobic plus resistance training on the metabolic syndrome and adiponectinemia in obese adolescents[J]. The Journal of Clinical Hypertension，2011，13(5)：343—350.

[36] Marathe PH，Gao HX，Close KL. American Diabetes Association Standards of medical care in diabetes 2017[J]. Journal of Diabetes，2017，9(4)：320—324.

[37] Torres-Leal FL，Capitani MDD，Tirapegui J. The effect of physical exercise and caloric restriction on the components of metabolic syndrome[J]. Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences，2009，45(3)：379—399.

[38] Chavanelle V，Boisseau N，Otero YF，et al. Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on glycaemic control and skeletal muscle mitochondrial function in db/db mice[J]. Sci Rep，2017，7 (204)：1—10.

(上接第983页)

tation，2005，11(5)：143—148.

[15] Guidali M，Keller U，Klamroth-Marganska V，et al. Estimating the patient's contribution during robot-assisted therapy[J]. Journal of Rehabilitation Research and Development，2013，50(3)：379—393.

[16] 马立，王敬萍，李丰甜，等. 精密定位系统的摩擦力建模与补偿[J]. 光学精密工程，2019，27 (1)：121—128.

[17] Prajumkhaiy N，Mitsantisuk C. Sensorless force estimation of SCARA robot system with friction compensation[J]. Procedia Computer Science，2016，86：120—123.

[18] Farina D，Jiang N，Rehbaum H，et al. The extraction of neural information from the surface EMG for the control of upper-limb prostheses：emerging avenues and challenges [J]. IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering，2014，22(4)：797—809.

[19] Phinyomark A，Phukpattaranont P，Limsakul C. Feature reduction and selection for EMG signal classification[J]. Expert Systems with Applications，2012，39(8)：7420—7431.

[20] Doorenbosch CA，Harlaar J. A clinically applicable EMG-force model to quantify active stabilization of the knee after a lesion of the anterior cruciate ligament[J]. Clinical Biomechanics，2003，18(2)：142—149.