[24] Scott KM. Depression, anxiety and incident cardiometabolic diseases[J]. Curr Opin Psychiatry,2014,27(4):289—293.
[25] Hare DL, Toukhsati SR, Johansson P, et al. Depression and cardiovascular disease: a clinical review[J]. Eur Heart J, 2014,35(21):1365—1372.
[26] Davies SJ, Allgulander C. Anxiety and cardiovascular disease[J]. Mod Trends Pharmacopsychiatri,2013,29:85—97.
[27] Young QR, Nguyen M, Roth S, et al. Single-item measures for depression and anxiety: Validation of the Screening Tool for Psychological Distress in an inpatient cardiology setting[J]. Eur J Cardiovasc Nurs,2015,14(6):544—551.
[28] Okamoto Y, Motomura N, Murashima S, et al. Anxiety and depression after thoracic aortic surgery or coronary artery bypass[J]. Asian Cardiovasc Thorac Ann,2013,21(1): 22—30.
[29] Korbmacher B, Ulbrich S, Dalyanoglu H, et al. Perioperative and long-term development of anxiety and depression in CABG patients[J]. Thorac Cardiovasc Surg,2013,61(8): 676—681.
[30] Murphy BM, Elliott PC, Higgins RO, et al. Anxiety and depression after coronary artery bypass graft surgery: most get better, some get worse[J]. Eur J Cardiovasc Prev Rehabil,2008,15(4):434—440.
[31] Sharif F, Shoul A, Janati M, et al. The effect of cardiac rehabilitation on anxiety and depression in patients undergoing cardiac bypass graft surgery in Iran[J]. BMC Cardiovasc Disord,2012,12:40.
[32] Szczepanska-Gieracha J, Morka J, Kowalska J, et al. The role of depressive and anxiety symptoms in the evaluation of cardiac rehabilitation efficacy after coronary artery bypass grafting surgery[J]. Eur J Cardiothorac Surg,2012,42 (5):e108—e114.
[33] Carneiro AF, Mathias LA, Rassi Junior A, et al. Evaluation of preoperative anxiety and depression in patients undergoing invasive cardiac procedures[J]. Revista Brasileira de Anestesiologia,2009,59(4):431—438.

·临床研究·

循环运动训练对2型糖尿病妇女心肺适能及血流介导的血管舒张功能的影响*

冯 蕾[1] 周素珍[1] 赵占胜[2] 王彦伟[1] 高前进[1,3]

摘要

目的:研究循环运动训练对2型糖尿病妇女心肺适能及血流介导的血管舒张功能(FMD)的影响,探讨循环运动训练对2型糖尿病患者心血管功能的影响及机制。

方法:8例2型糖尿病妇女进行12周的循环运动训练,采用超声技术测试受试者循环运动训练前、后的血流介导血管舒张功能,采用Astrand-Ryhnuiy列线图法间接推测受试者最大摄氧量,并对血清脂代谢指标和血清白细胞介素-6(IL-6),C-反应蛋白(CRP)的水平进行检测。同时将8例同年龄段、健康非糖尿病妇女作为正常对照组。

结果:经过12周循环运动训练后,糖尿病妇女的体脂率(30.42%±1.80% *vs* 28.10%±1.50%)、糖化血红蛋白(7.31%±0.70% *vs* 6.88%±0.76%)等显著下降($P<0.05$),同时,FMD(7.32%±1.29% *vs* 9.37%±0.89%)显著增加($P<0.05$),最大摄氧量[(1.73±0.22)L/min *vs* (2.10±0.32)L/min]显著增加($P<0.05$),IL-6[(0.78±0.13)ng/L *vs* (0.40±0.15)ng/L]、CRP[(9.97±0.96)mg/L *vs* (7.32±1.02)mg/L]水平显著降低($P<0.05$)。所有受试者的FMD增加的程度与最大摄氧量增加程度、血清IL-6和CRP降低的程度呈显著正相关。

结论:循环运动训练能改善糖尿病妇女血流介导的血管舒张功能,循环运动训练改善心血管功能的机制与心肺适能的提高及炎症水平的降低有关。

关键词 循环运动训练;2型糖尿病;血流介导的血管舒张;最大摄氧量;炎症

中图分类号:R587.1, R493 **文献标识码**:B **文章编号**:1001-1242(2017)-06-0680-06

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2017.06.014

*基金项目:石家庄学院科研平台启动基金项目(xJpT005)

1 石家庄学院体育学院运动人体科学实验中心,石家庄,050035; 2 河北医科大学第二医院内分泌科; 3 通讯作者

作者简介:冯蕾,女,硕士研究生,讲师; 收稿日期:2016-04-01

糖尿病是由于胰岛素分泌不足或作用缺陷引起的一种常见的慢性内分泌代谢性疾病,糖尿病的根本危害在于各种并发症,尤以心血管系统最容易受累,心血管疾病是糖尿病的最主要并发症,也是糖尿病患者最主要的死亡原因[1]。血管内皮功能障碍是心血管疾病发生发展的重要始发因素[2]。因此,改善糖尿病患者血管内皮功能对降低心血管疾病发病率与死亡率具有重要意义。

运动疗法是公认的非药物疗法,有关运动疗法对糖尿病影响的研究一直是康复医学的热点课题。有氧耐力运动在提高最大摄氧量(VO_{2max})和相关的心肺适能,以及心血管危险因素调节方面更有效[3],而抗阻力训练在增加骨密度、肌肉力量、耐力、肌肉肥大,提高基础代谢率方面更具优势[4]。虽然这两种运动改进健康的机制不同,但它们对心肺适能、血糖控制、胰岛素敏感有相似的影响[5]。因此,一些学者研究认为有氧运动和抗阻力训练结合能够对体成分及生理功能产生更显著和广泛的影响[6]。

循环运动训练法是近年康复医学领域研究较多的运动训练方法。此法是根据训练的任务,建立若干训练站或训练点,运动员按规定顺序、路线,依次循环完成每站所规定的训练内容和要求的训练方法。是一种综合形式的训练方法,比较生动活泼,能提高训练者的训练情绪和积极性。循环运动训练的研究已涉及多个领域,心脏病患者康复[7],脑卒中患者康复[8—9],青少年的肌肉和心血管功能[10],以及老年人康复等。近年研究发现循环运动训练可显著改善超重或肥胖人群的血压、血脂、体成分及心肺适能[11—12],循环运动训练法还能有效降低2型糖尿病妇女的血糖和血清炎症因子水平,比单纯有氧运动效果好[13—14]。但循环运动训练法对2型糖尿病患者血管舒张功能的影响及其机制尚不清楚,是否与患者心肺适能及轻度炎症水平的变化相关仍需进一步研究,因此本研究的目的是通过观察比较2型糖尿病妇女循环运动训练前、后血管舒张功能、最大摄氧量以及炎症因子的变化,探讨循环运动训练对2型糖尿病患者心血管功能的影响及可能机制。

1 对象与方法

1.1 研究对象

从河北医科大学第二医院内分泌科确诊的糖尿病患者中选取10例2型糖尿病成年女性作为研究对象,年龄(51.13±3.44)岁,病程3—5年。

纳入标准:①患者无其他疾病或严重的糖尿病综合征;②患者糖化血红蛋白(hemoglobin A1c, HbA1c)在9%以下,快速血糖水平200mg/dl或以下;③无有规律训练习惯。由于患者大都服用降糖药物,为减少药物及饮食对研究结果的影响,我们选择HbA1c 9%以下,且每天二甲双胍服用剂量在1000mg/d及以下,研究期间严格要求药物剂量不超过1000mg/d,研究期间不服用其他药物,患者接受过糖尿病教育和辅导,训练前和训练期间一直执行糖尿病饮食。整个实验过程中可随时退出实验。患者理解本研究的目的并签署知情同意书。符合纳入标准的受试者共计10例,中途2例退出,最终8例受试者确定为糖尿病组。同时将8例同年龄段、健康非糖尿病妇女作为正常对照组。

1.2 循环运动训练方案

糖尿病组接受为期12周的循环运动训练,内容分6个训练站:跑步、卧推杠铃、拉背训练、仰卧起坐、腿推蹬、原地纵跳(表1)。每周一、三、五下午进行训练,每次循环运动训练3组,组间休息3min,可以喝水、方便。运动强度约为50%—60%一次最大重复负荷(one repetition maximum, 1RM),1RM的确定采用低限阻力测试值(7—10RM)预测1RM,计算公式为"1RM=1.554×(7-10RM重量)-5.181"[15]。随着训练力量增加,分别在第4、8周末重新计算新的1RM进行训练。训练在专门教练的指导下进行。

1.3 身体基本情况检测

所有受试者首先进行身高、体重、身体质量指数(body mass index, BMI)、心率、血压等指标的测量;采用日本产DF 830体成分分析仪对受试者身体成分(体脂率、肌肉率)进行测量。

1.4 心肺适能指标

最大摄氧量是公认的评定人体心肺适能的重要指标。采用Astrand-Ryhnuiy列线图法,使用瑞典产MONARK-828E功率自行车间接测试受试者最大摄氧量。列线图法是依据心率,功率和摄氧量之间密切的关系,计算出功率—摄氧量

表1 循环运动训练法训练内容

训练部分	训练内容	运动时间	重复次数/强度	循环组数
准备活动	热身活动各关节	10min		
主要运动	1.跑步	5min	70%最高心率	
	2.卧推杠铃 3.拉背训练 4.腿推蹬	每站30s完成,站间休息30s,3站共2.5min	抗阻力训练,每站10次/50%—60% 1RM	每组由6站组成,循环3组,站间休息30s,组间休息2min
	5.仰卧起坐	1min	15个以上/min	
	6.原地纵跳	1min	30个以上/min	
整理活动	伸展和放松训练	10min		

和功率—心率变化相关直线的斜率间接推测最大摄氧量。简要步骤是：首先受试者以50r/min的速度蹬功率自行车，并调整负荷为1kp，持续运动6min；休息5min（坐于座上）然后再重复上述步骤，但负荷适当增加（女子可选择2kp，3kp中的任一负荷）前后两次负荷运动时心率都要在120—170次/min。用运动中第5和第6min记录下的心率的平均值查表来推测最大摄氧量[16]，一律佩戴Polar表监测靶心率，运动中注意观察受试者有无心绞痛、呼吸困难、疲劳、苍白等症状，必要时及时终止实验。检测前，首先进行了运动风险评估，对受试者的心功能指标包括心肌酶（CK-MB，AST，LDH等）、心肌蛋白（肌红蛋白，肌钙蛋白等）进行了评价，然后进行蹬踏台阶实验（1次/2s，蹬踏3min），观察安静与运动后心率的变化，对运动后心率升高异常，以及运动后5min心率仍高于安静心率20次以上者，禁止进行最大摄氧量检测[17]。

1.5 血管内皮功能检测

受试者测试前禁食至少4h，测试前10h内，无吸烟，饮酒或其他刺激性食品。然后在一个安静、温度舒适（25—26℃）房间内卧姿休息10min后，开始进行血流介导的血管舒张功能检测。采用日本UNEX EF高分辨率超声血管内皮分析仪检测，取右侧肘关节上方3—5cm处肱动脉，首先纵向扫描其安静状态下肱动脉舒张末期的基础内径（D_1），然后使用血压计袖带缚在受试者肘关节上方加压250mmHg，维持3min然后迅速放气减压，测量其1min内反应性充血后的最大内径（D_2），FMD%=（D_2-D_1）/D_1×100%，测试时间统一安排在上午9—11点进行，D_1、D_2的测量均进行3次，取平均值。

1.6 血样和生化指标分析

为避免生物节律对实验结果的影响，血样采集时间均选择在12周循环运动训练前、后的上午8—10点进行，采集空腹状态下的肘静脉血5ml，4℃离心分离血清后置于-20℃环境保存待测。脂代谢指标采用酶比色法测定：包括总胆固醇（TC）、甘油三酯（TG）、高密度脂蛋白（HDL-C）、低密度脂蛋白（LDL-C）；炎症指标包括血清白细胞介素-6（IL-6）和C-反应蛋白（CRP）的测定采用酶联免疫吸附法；糖化血红蛋白HbA1c检测采用亲和层析法。

1.7 统计学分析

应用SPSS 17统计分析软件对数据资料进行统计分析，数值以均数±标准差表示。以单因素方差分析各组别之间的差异；两变量前后变化值的相关性采用等级相关分析。

2 结果

2.1 循环运动训练前后身体形态指标变化

循环运动训练前，糖尿病组体重、BMI、体脂率显著高于正常对照组（$P<0.05$），肌肉率显著低于正常对照组（$P<0.05$），而且糖尿病组BMI＞25，属肥胖，体脂肪率过多；经过12周循环运动训练后，糖尿病组体脂率显著降低（$P<0.05$），肌肉率大幅增加，但不显著（$P>0.05$），由于体脂降低肌肉增长，体重有降低的趋势，但不显著。见表2。

2.2 循环运动训练前后血清生理生化指标变化

循环运动训练前，糖尿病组HbA1c、TC、TG水平显著高于正常对照组（$P<0.05$）；经过12周循环运动训练后，糖尿病组HbA1c、TC、TG水平均出现显著降低（$P<0.05$）。见表2。

2.3 循环运动训练前后血流介导的血管舒张功能、最大摄氧量及炎症因子变化

糖尿病组妇女内皮依赖性血流介导的血管舒张功能（flow-mediated dilation, FMD）显著低于正常对照组（$P<0.05$），而12周的循环运动训练显著增加了糖尿病妇女的FMD；糖尿病妇女VO_{2max}显著低于正常对照组（$P<0.05$），12周训练后VO_{2max}显著增加；糖尿病组IL-6、CRP显著高于正常对照组（$P<0.05$），而12周循环运动训练显著降低了糖尿病组的IL-6、CRP水平（$P<0.05$）。见表3。

2.4 循环运动训练前后血流介导血管内皮舒张功能与炎症及VO_{2max}变化的相关性分析

对糖尿病妇女循环运动训练前、后各生理指标的变化进行相关分析，结果显示VO_{2max}增加的程度（r=0.713，P=0.047），以及IL-6（r=0.762，P=0.028）、CRP（r=0.718，P=0.045）降低的程度与FMD的增加程度均呈显著正相关。见图1。

表2 受试者身体各指标12周循环运动训练前后变化比较

（$\bar{x}\pm s$）

指标	例数	正常对照组	糖尿病组	
			训练前	训练后
年龄（岁）	8	51.38±2.97	51.13±3.44	51.13±3.44
身高（cm）	8	158.38±3.89	158.88±4.64	158.88±4.64
体重（kg）	8	58.61±4.27②	64.07±3.51①	61.03±4.01
BMI（Kg/m²）	8	23.33±0.70②	25.39±1.02①	24.17±1.25
体脂率（%）	8	26.32±2.11②	30.42±1.80①	28.10±1.50②
肌肉率（%）	8	33.50±3.49②	28.60±3.22①	31.89±2.36
FBG（mmol/L）	8	5.57±0.46	6.89±1.30①	5.73±0.58②
HbA1c（%）	8	5.72±0.58②	7.31±0.70①	6.88±0.76①②
TC（mmol/L）	8	4.21±0.64②	5.41±0.63①	4.48±0.62②
TG（mmol/L）	8	1.16±0.53②	2.52±0.66①	2.09±0.45①②
HDL-C（mmol/L）	8	1.38±0.37	1.35±0.26	1.43±0.15
LDL-C（mmol/L）	8	2.38±0.46	2.46±0.58	2.35±0.73

与正常对照组比较：①$P<0.05$；与循环运动训练前比较：②$P<0.05$

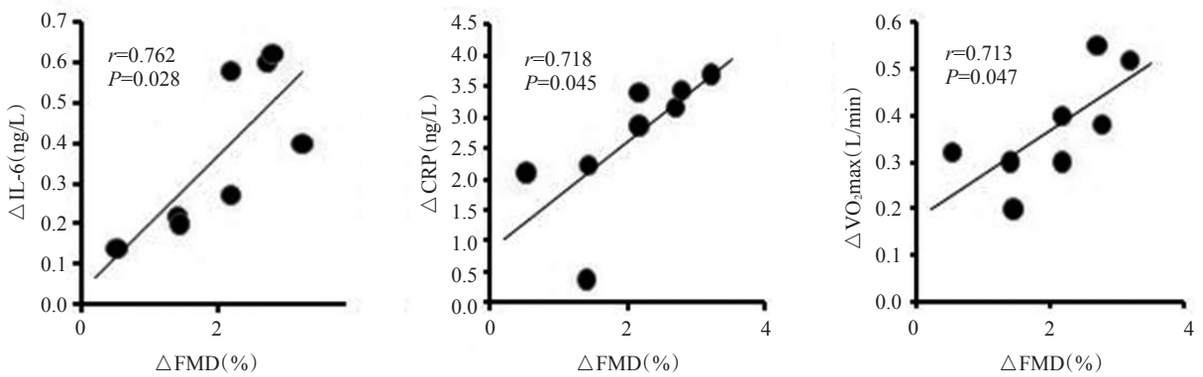
表3 受试者FMD%、IL-6、CRP 12周循环运动训练前后变化比较

（$\bar{x}\pm s$）

指标	例数	正常对照组	糖尿病组	
			12周前	12周后
FMD（%）	8	11.67±2.33②	7.32±1.29①	9.37±0.89①②
IL-6（ng/L）	8	0.43±0.10②	0.78±0.13①	0.40±0.15②
CRP（mg/L）	8	5.76±1.23②	9.97±0.96①	7.32±1.02①②
VO_2max（L/min）	8	2.21±0.28②	1.73±0.22①	2.10±0.32②

与对照组比较：①$P<0.05$；与训练组12周前比较：②$P<0.05$

图1 糖尿病组妇女△VO_{2max}、△IL-6、△CRP与△FMD的相关性分析 (n=8)



3 讨论

本研究根据糖尿病患者的特点共安排了6站循环运动训练内容:5min跑步→卧推杠铃→拉背训练→仰卧起坐→腿推蹬→原地纵跳,每站之间可休息30s,循环进行,共循环3组,每周3次,对糖尿病患者进行为期12周的运动干预。任务是降脂、增肌、提高心肺适能,并进一步观察对心血管功能的影响。通过实验观察发现循环运动训练能显著降低患者的体脂肪率,增加肌肉量,显著提高患者的心肺适能,显著改善血流介导的血管舒张功能。那么,循环运动训练为什么能够显著降低体脂率,提高2型糖尿病患者的心肺适能和改善血管舒张功能,我们将围绕这些问题进行讨论。

3.1 循环运动训练增加患者肌肉量,显著降低了患者的体脂肪率和HbA1c

糖尿病情况下,患者的肌肉率降低,体脂肪率显著升高,而骨骼肌是糖和甘油酸酯代谢的首要靶器官,人体全身的肌肉大约400多块,占体重的40%左右,是静息代谢率的重要的决定因素。理论上讲,每增加1kg肌肉会导致静息代谢率增加21kCal,如果增加5kg肌肉可每天增加100kCal的能量消耗[18]。肌肉量增大除了增加静息代谢率,还会使运动中能量的消耗大幅增加,人体的功能能力大幅提升,因此,人体保持足够的肌肉量就会消耗多余的能量,脂肪就不会堆积,同时大量的肌肉运动后能量的补充,一方面来自食物,更重要的会通过消耗脂肪来补充能量。这就是肌肉发达而且经常运动的人不容易发胖的原因[19]。人体的肌肉量与各种原因引起的死亡率呈反比[20],与代谢综合征的患病率成反比[21]。美国心脏协会,美国运动医学学院,美国糖尿病协会均推荐2型糖尿病患者每周进行2—3次的抗阻力训练作为治疗手段[22]。

本研究使用抗阻力训练与有氧运动结合的循环运动训练法增加了2型糖尿病妇女的肌肉率,显著降低了患者的体脂率和HbA1c。Shabani R等[23]使用为期3个月,每周3次的中等强度的循环运动训练显著降低了2型糖尿病妇女的HbA1c和皮下脂肪,他们认为循环运动训练法降低体脂及血糖比传统的抗阻力训练法效果好。循环运动训练是站点保持一定强度的运动,站点之间短暂休息的运动形式,其特点是:①根据糖尿病患者的身体情况设计训练内容,在训练内容上是有氧运动与抗阻力训练的结合;②在运动形式上具有间歇训练的特点,强调中高强度运动,每站之间短暂间歇;③患者按规定顺序、路线,快速依次循环完成每站所规定的训练内容,是一种综合形式的训练方法,比较生动活泼,能提高患者的训练情绪和积极性。其他很多研究也证明了这一点,例如Takeshima等[24]观察了12周中等强度的循环运动训练对老年肥胖男性体成分的影响,结果体脂有16%的下降,他们的循环运动训练法由30s的抗阻力训练和30s的有氧舞蹈(70%最高心率)作为休息间歇组成,两种运动不断循环。本研究的循环运动训练法也起到了同样的治疗作用。

3.2 循环运动训练能够提高糖尿病患者的心肺适能

众所周知,低的心肺适能是很多慢性疾病的危险因素[25],同时也是糖尿病患者死亡率的主要预测指标[26]。最大摄氧量是公认的评定人体心肺功能和有氧代谢能力的重要指标。本研究中2型糖尿病妇女的VO_{2max}比正常对照组有显著性下降,平均降低20%左右,有研究统计无论男女,2型糖尿病患者VO_{2max}有12%—15%的下降[27],2型糖尿病患者VO_{2max}降低的原因主要是由于高体脂率、低肌肉率影响了心泵功能和肌肉利用氧气的能力,高血糖、高血脂使肺摄氧量降低,同时高血脂和高血糖引起血管内皮功能障碍,血管舒张功能降低,血液运输氧气能力下降,因此患者运动耐受能力差。

以抗阻力训练为主的循环运动训练除了增加肌肉量外,还引起氧运输系统及肌肉利用氧气能力的改变,主要表现为肌细胞周围毛细血管密度增加,肌细胞氧化能力提高,柠檬酸合成酶等氧化酶的活动增强。通过这些改变使肌肉利用磷酸原、糖原,以及甘油三酯的能力增强,这是循环运动提高VO_{2max}的机制[28],包括2型糖尿病患者。

本研究使用的中等强度短间歇的循环运动训练增加了肌肉量，显著降低了糖尿病妇女的体脂肪率和血脂水平，因此VO_{2max}显著提高。Sénéchal M等[29]采用有氧运动与抗阻力训练结合的运动形式对2型糖尿病患者肌肉量与VO_{2max}的相关性进行了研究，发现训练能显著提高肌肉量和VO_{2max}，并且肌肉量的增长与VO_{2max}的提高呈显著正相关关系。与我们的研究结果一致。

3.3 循环运动训练提高糖尿病患者血管舒张功能机制

本研究另一主要发现是循环运动训练显著提高了2型糖尿病妇女的血管舒张功能，而且血管舒张提高的值（△FMD）与最大摄氧量提高的值（△VO_{2max}）呈显著正相关关系。循环运动训练后糖尿病妇女运动能力的提高、VO_{2max}的提高使心泵功能和肌肉利用氧气的能力提升，进而加速了降脂和增肌作用，促进了血管舒张功能的改善，而降脂和降糖作用引起的血管舒张功能的改善又能促进氧运输能力的提高，因此，VO_{2max}提高和血管舒张功能改善二者互为因果关系。

近年来的研究表明，脂肪组织可分泌多种炎症细胞因子参与机体多种生理功能。CRP和IL-6是机体免疫和炎症反应的重要调节因子，其血液浓度可以反映体内炎性应激水平。CRP是机体受到创伤或者炎症损伤时由肝脏合成的急性蛋白，是一种高度敏感的炎性标志，其水平的升高与心血管疾病密切相关[30]。IL-6是由T细胞、成纤维细胞、单核细胞、巨核细胞等产生的一种多功能的细胞因子，近年来发现基础状态下血浆中IL-6水平主要来自脂肪组织分泌，IL-6作为一种自分泌、旁分泌和内分泌激素刺激肝细胞生成多种急性时相的蛋白质调节机体免疫，参与体内的脂肪、葡萄糖等能量代谢，诱导胰岛素抵抗，破坏胰岛β细胞，在糖尿病发生发展中起着重要作用[14]。

糖尿病患者血清CRP与IL-6水平显著增加提示其体内炎症应激有所加剧。很多研究发现2型糖尿病患者血清CRP与IL-6水平显著增加[3,14]，与本研究结果一致。本研究经过12周循环运动训练后糖尿病妇女的血清CRP与IL-6显著降低，这提示本研究采取的运动方案可以显著改善2型糖尿病妇女的炎症反应。本研究还显示，循环运动训练所诱导的△FMD与CRP、IL-6降低程度呈显著正相关关系，这提示运动干预改善糖尿病患者血管内皮功能可能与运动的抗炎作用有关。近年研究表明，运动干预所具有的抗炎与提高心肺适能作用是运动有效防治心血管疾病的重要机制[1,3—7,14,27]。

综上所述，2型糖尿病通过复杂机制引起血管内皮功能障碍，引起动脉粥样硬化诱发心血管疾病的发生，其中炎症反应与心肺适能的降低在血管内皮舒张功能障碍中起到重要作用。因此，通过改善其血管内皮功能可以有效降低糖尿病患者罹患心血管并发症的风险。本研究观察到循环运动训练法可显著改善2型糖尿病妇女的体脂率、血糖、心肺适能以及血管舒张功能。

从实验的安全性和可操作性考虑，本研究选择了无其他并发症的糖尿病妇女为研究对象进行了运动观察，因此，纳入标准之外的糖尿患者是否适用本运动方案尚需进一步观察。

参考文献

[1] Temporelli PL. Physical activity and cardiovascular health[J]. G Ital Cardiol (Rome), 2016, 17(3):176—180.

[2] Bertoluci MC, Cé GV, da Silva AM, et al. Endothelial dysfunction as a predictor of cardiovascular disease in type 1 diabetes[J]. World J Diabetes, 2015, 6(5):679—692.

[3] Liu Y, Liu SX, Cai Y, et al. Effects of combined aerobic and resistance training on the glycolipid metabolism and inflammation levels in type 2 diabetes mellitus[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(7):2365—2371.

[4] Socha M, Frączak P, Jonak W, et al. Effect of resistance training with elements of stretching on body composition and quality of life in postmenopausal women[J]. Prz Menopauzalny, 2016, 15(1):26—31.

[5] Armstrong MJ, Colberg SR, Sigal RJ. Moving beyond cardio: the value of resistance training, balance training, and other forms of exercise in the management of diabetes[J]. Diabetes Spectr, 2015, 28(1):14—23.

[6] Burich R, Teljigović S, Boyle E, et al. Aerobic training alone or combined with strength training affects fitness in elderly: Randomized trial[J]. Eur J Sport Sci, 2015, 15(8):773—783.

[7] Hardcastle SJ, McNamara K, Tritton L, et al. Using Visual Methods to Understand Physical Activity Maintenance following Cardiac Rehabilitation[J]. PLoS One, 2015, 10(9):e0138218.

[8] Kim SM, Han EY, Kim BR, et al. Clinical application of circuit training for subacute stroke patients: a preliminary study[J]. J Phys Ther Sci, 2016, 28(1):169—174.

[9] Song HS, Kim JY, Park SD, et al. Effect of the class and individual applications of task-oriented circuit training on gait ability in patients with chronic stroke[J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(1):187—189.

[10] Mayorga-Vega D, Viciana J, Cocca A. Effects of a Circuit Training Program on Muscular and Cardiovascular Endurance and their Maintenance in Schoolchildren[J]. J Hum Kinet, 2013, (37):153—160.

[11] Miller MB, Pearcey GE, Cahill F, et al. The effect of a short-term high-intensity circuit training program on work capacity, body composition, and blood profiles in sedentary obese men: a pilot study[J]. Biomed Res Int, 2014, (2014):191797.

[12] Paoli A, Pacelli QF, Moro T, et al. Effects of high-intensity circuit training, low-intensity circuit training and endurance training on blood pressure and lipoproteins in middle-aged overweight men[J]. Lipids Health Dis, 2013, (12):131.

[13] Kim HJ, Kang CK, Park H, et al. Effects of vitamin D supplementation and circuit training on indices of obesity and insulin resistance in T2D and vitamin D deficient elderly women[J]. J Exerc Nutrition Biochem, 2014, 18(3):249—257.
[14] Kim KB. Effect of different training mode on Interleukin-6 (IL-6) and C-reactive protein (CRP) in type 2 diabetes mellitus (T2DM) patients[J]. J Exerc Nutrition Biochem, 2014, 18(4):371—378.
[15] Niewiadomski W, Laskowska D, Gasiorowska A, et al. Determination and prediction of one repetition maximum (1RM): Safety considerations[J]. J Hum Kinet. 2008, 19: 109—119.
[16] 全国体育院校教材委员会.运动生理学实验指导[M].北京:人民体育出版社,2005.2011.
[17] 孙汝平,倪占玲,徐金义,等.C反应蛋白与心率恢复对糖尿病患者心血管事件的预测[J].中国卫生检验杂志,2012,(10):2356—2359.
[18] Strasser B, Schobersberger W. Evidence for resistance training as a treatment therapy in obesity[J]. J Obes, 2011, (2011): pii: 482564. doi: 10.1155/2011/482564.
[19] Perry BD, Caldow MK, Brennan-Speranza TC, et al. Muscle atrophy in patients with Type 2 Diabetes Mellitus: roles of inflammatory pathways, physical activity and exercise[J]. Exerc Immunol Rev, 2016, (22):94—109.
[20] Fitzgerald SJ,Blair GS. Muscular fitness and all cause mortality: prospective observations[J].Journal of Physical Activity and Health. 2004, 21(1):17—18.
[21] Jurca R, Lamonte MJ, Barlow CE, et al. Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men[J]. Med Sci Sports Exerc, 2005, 37(11):1849—1855.
[22] Dugan JA. Exercise recommendations for patients with type 2 diabetes[J]. JAAPA, 2016, 29(1):13—18.
[23] Shabani R, Nazari M, Dalili S, et al. Effect of Circuit Resistance Training on Glycemic Control of Females with Diabetes Type II[J]. Int J Prev Med, 2015, (6):34.
[24] Takeshima N, Rogers ME, Islam MM, et al. Effect of concurrent aerobic and resistance circuit exercise training on fitness in older adults[J]. Eur J Appl Physiol, 2004, 93(1—2):173—182.
[25] Holtermann A, Marott JL, Gyntelberg F, et al. Self-reported cardiorespiratory fitness: prediction and classification of risk of cardiovascular disease mortality and longevity--a prospective investigation in the Copenhagen City Heart Study [J]. J Am Heart Assoc, 2015, 4(1):e001495.
[26] Wei M, Gibbons LW, Kampert JB, et al. Low cardiorespiratory fitness and physical inactivity as predictors of mortality in men with type 2 diabetes[J]. Ann Intern Med, 2000, 132(8):605—611.
[27] Green S, Egaña M, Baldi JC, et al. Cardiovascular control during exercise in type 2 diabetes mellitus[J]. J Diabetes Res, 2015, (2015):654204.
[28] Myers TR, Schneider MG, Schmale MS, et al. Whole-body aerobic resistance training circuit improves aerobic fitness and muscle strength in sedentary young females[J]. J Strength Cond Res, 2015, 29(6):1592—1600.
[29] Sénéchal M, Johannsen NM, Swift DL, et al. Association between Changes in Muscle Quality with Exercise Training and Changes in Cardiorespiratory Fitness Measures in Individuals with Type 2 Diabetes Mellitus: Results from the HART-D Study[J]. PLoS One, 2015, 10(8):e0135057.
[30] Aliasgharzadeh A, Dehghan P, Gargari BP, et al. Resistant dextrin, as a prebiotic, improves insulin resistance and inflammation in women with type 2 diabetes: a randomised controlled clinical trial[J]. Br J Nutr, 2015, 113(2):321—330.

(上接第648页)

[16] Simpson ER, Clyne C, Rubin G, et al. Aromatase:a brief overview[J]. Annu Rev Physiol, 2002, (64):93—127.
[17] Gennari L, Nuti R, Bilezikian JP. Aromatase activity and bone homeostasis in men[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2004, 89(12):5898—5907.
[18] Subbaramaiah K, Howe LR, Bhardwaj P, et al. Obesity is associated with inflammation and elevated aromatase expression in the mouse mammary gland[J]. Cancer Prev Res (Phila), 2011, 4(3):329—346.
[19] Ayanian S, Irwig MS. Hypogonadism in a male-to-female transsexual with super obesity[J]. Andrologia, 2013, 45(4): 285—288.
[20] Kelishadi R, Hashemi M, Mohammadifard N, et al. Association of changes in oxidative and proinflammatory states with changes in vascular function after a lifestyle modification trial among obese children[J]. Clin Chem, 2008, 54(1): 147—153.
[21] Vincent HK, Bourguignon C, Vincent KR. Resistance training lowers exercise-induced oxidative stress and homocysteine levels in overweight and obese older adults[J]. Obesity (Silver Spring), 2006, 14(11):1921—1930.
[22] Nestler JE, Jakubowicz DJ. Decreases in ovarian cytochrome P450c17 alpha activity and serum free testosterone after reduction of insulin secretion in polycystic ovary syndrome[J]. N Engl J Med, 1996, 335(9):617—623.
[23] 于万鹏.芳香化酶超表达引起雄鼠不育分子机理研究[D].中国农业大学,2015.