

基于心肺运动试验的精准有氧运动处方对中心型肥胖患者体成分及代谢指标的影响*

邓淑坤¹ 袁 鹏¹ 周群燕² 任 烨³ 吴文君^{3,4}

摘要

目的:探讨基于心肺运动试验精准制定个体化有氧运动处方减轻中心型肥胖患者体重、改善体成分及代谢指标的疗效。

方法:选取2019年6月至2020年10月在南京医科大学附属无锡人民医院内分泌科就诊的中心型肥胖患者60例,以是否进行心肺运动试验分为两组,每组各30例,分为心肺运动试验组(CPET组,30例)和对照组(CON组,30例),两组均进行标准化饮食指导,执行相同的运动处方,CON组进行每周5—7次的常规有氧运动训练,CPET组根据心肺运动试验测试结果制定精准有氧运动处方,对两组患者基线及干预12周后的体重、身体质量指数(body mass index, BMI)、腰围、人体成分(体脂肪、骨骼肌、体脂百分比、内脏脂肪面积)、静息收缩压、静息舒张压和代谢指标(糖化血红蛋白, Glycosylated hemoglobin, type A1C, HbA1c)、低密度脂蛋白胆固醇(Low-density lipoprotein cholesterol, LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(High density lipoprotein cholesterol, HDL-C)、甘油三酯、总胆固醇、空腹血糖、尿酸、谷丙转氨酶、谷草转氨酶)进行检测和比较分析。

结果:两组患者一般情况及各指标基线值无显著性差异($P>0.05$)。两组患者治疗12周后体重、BMI、腰围、静息血压、体成分及代谢指标与治疗前相比均有显著改善($P<0.05$),较CON组相比,这些指标在CPET组改善更明显,其中体重、BMI、腰围、静息舒张压、体脂肪、体脂百分比及内脏脂肪等指标有显著性差异($P<0.05$)。

结论:以心肺运动试验为依据的个体化有氧运动处方能更精准地改善中心型肥胖患者的代谢指标及人体成分,增强减重效果,重塑代谢健康,值得推广。

关键词 心肺运动试验;运动处方;中心型肥胖;体成分;代谢指标

中图分类号:R493,R563.9 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2023)-02-0199-08

Effects of precise aerobic exercise prescription based on cardiopulmonary exercise test on body composition and metabolic indexes of central obese patients/DENG Shukun, YUAN Peng, ZHOU Qunyan, et al// Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2023, 38(2): 199—206

Abstract

Objective: To explore the efficacy of accurately formulating individualized aerobic exercise prescription based on cardiopulmonary exercise test to reduce body weight and improve body composition and metabolic indexes in patients with central obesity.

Method: Sixty patients with central obesity treated in the department of endocrinology of Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University from June 2019 to October 2020 were selected. They were divided into two groups with 30 cases in each according to whether to carry out cardiopulmonary exercise test. They were divided into cardiopulmonary exercise test group (CPET group, 30 cases) and control group (CON group, 30 cases). Both groups were given standardized diet guidance and performed the same strength exer-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2023.02.010

*基金项目:江苏省高层次人才“六个一工程”拔尖人才科研项目(LGY2019018);无锡市太湖人才计划高层次人才培养项目(BJ2020005);2018年无锡市科技发展资金项目(WX18IVJN001)

1 南京医科大学附属无锡人民医院康复医学科,江苏省无锡市,214023; 2 南京医科大学附属无锡人民医院营养科; 3 南京医科大学附属无锡人民医院内分泌科; 4 通讯作者

第一作者简介:邓淑坤,女,硕士研究生,主治医师;收稿日期:2021-11-03

cise prescription, CON group received routine aerobic exercise training 5—7 times a week. CPET group formulated accurate aerobic exercise prescription according to the results of cardiopulmonary exercise test. The body weight, body mass index (BMI), waist circumference, body composition (body fat, skeletal muscle, body fat percentage, visceral fat area), resting systolic blood pressure, resting diastolic blood pressure and metabolic indexes (Glycosylated Hemoglobin, Type A1C, HbA1c), low density lipoprotein cholesterol (LDL-C), high density lipoprotein cholesterol (HDL-C), triglycerides, total cholesterol, fasting blood glucose, uric acid, alanine aminotransferase and aspartate aminotransferase) were detected and compared.

Result: There was no statistical difference in general conditions and baseline values of each index between the two groups ($P>0.05$). After 12 weeks of treatment, body weight, BMI, waist circumference, resting blood pressure, body composition and metabolic indexes in two groups were significantly improved compared with those before treatment ($P<0.05$). These indicators in the CPET group were improved more obviously than those in the control group, and there were statistical differences in body weight, BMI, waist circumference, resting diastolic blood pressure, body fat, body fat percentage and visceral fat between the two groups ($P<0.05$).

Conclusion: Accurate aerobic exercise prescriptions based on cardiopulmonary exercise tests can more accurately improve the metabolic indexes of central obesity patients by reducing body fat, enhance the effect of weight loss, and rebuild metabolic health. It is worthy of promotion.

Author's address Wuxi People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Wuxi, Jiangsu, 214023

Key word cardiopulmonary exercise test; exercise prescription; central obesity; body composition; metabolic index

肥胖症被世界卫生组织公认为是全球最明显同时也最容易被忽视的公共健康问题。目前全球至少有5亿成年人患有肥胖症,且患病率逐年上升^[1]。肥胖患者主要死因为心血管疾病、2型糖尿病及部分恶性肿瘤。肥胖仅次于吸烟,已成为可预防的第二大死亡原因^[2]。肥胖的流行源于生活方式、健康及环境相关因素的变化,包括不良饮食和久坐不动^[3]。有氧运动可减轻体重,同时降低心血管疾病及代谢性疾病的危险因素^[4]。心肺运动试验在国内目前主要应用于心肺疾病的诊疗,用于指导心肺疾病患者制定安全有效的有氧运动处方,其应用于肥胖及代谢疾病的研究较少,仅有文献也主要研究运用心肺运动试验检测肥胖患者的心肺功能,国内未见有应用心肺运动试验为肥胖患者制定个体化运动处方的文献。本研究主要通过心肺运动试验测定患者无氧阈值时的心率,确定适合患者的运动强度,并观察基于此制定的个体化精准有氧运动处方对中心型肥胖患者人体成分及代谢指标的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究经南京医科大学附属无锡人民医院伦理委员会批准(批号:KS2019020),在中国临床试验注

册中心完成注册(注册号:ChiCTR1900022948),所有受试者均签署知情同意书。

选取2019年6月至2020年10月在南京医科大学附属无锡人民医院内分泌科门诊初次就诊的中心型肥胖患者。中心型肥胖的诊断依据肥胖症基层诊疗指南(2019年)^[5]。纳入标准:①年龄18—65岁之间者;②性别不限;③男性腰围 $\geq 90\text{cm}$ 、女性腰围 $\geq 85\text{cm}$ 者;④BMI ≥ 24 者(超重者,以腰围诊断中心型肥胖);⑤既往无糖尿病史、无病毒性肝炎或自身免疫性肝炎史者;⑥同意在试验期间采用避孕措施者;⑦能理解并签署知情同意书者。

排除标准:①继发性肥胖患者,包括疾病如甲状腺功能减退、库欣综合征或长期应用导致肥胖的药物等原因者;②准备于试验期间加用保肝、调脂或降糖药物等影响指标评估的措施者;③需要特殊饮食或影响运动的心、肺、脑、肝、肾等器官的慢性疾病者;④患有风湿免疫性疾病、血液系统疾病或有恶性肿瘤病史者;⑤影响心肺运动试验实施的心血管、呼吸系统疾病或神经骨骼肌肉系统疾病者;⑥妊娠期或哺乳期女性者;⑦不能、不愿意或者不同意遵守研究要求者,包括生活方式调整回访和受试者职责。初筛65例,其中血常规显示血小板计数 $<100\times 10^9/\text{L}$ 患者1例予排除;肝功能明显异常后明确为病毒性

肝炎1例予排除;心脏彩超提示室间隔明显增厚,存在运动风险1例予排除;心肺运动试验测试发现患者ST段明显压低2例予排除。共排除5例,最终纳入符合入排标准的中心型肥胖患者60例,根据有无进行心肺运动试验分为心肺运动试验组(CPET组)和对照组(CON组),每组各30例。

本研究样本量计算基于两干预组之间腰围变化值的最小差异为20%,预期标准偏差为20%。利用PASS 11软件计算,预计每组22例参与者的样本量可达到80%的检验效能以检测5%的显著性差异。假定研究对象的失访率为20%,则需样本量 $N1=N2=22\div0.8=28$ 例。最终两组各纳入30例。

1.2 研究方法

1.2.1 研究设计及流程:所有患者初次就诊时均由内分泌科医师采集临床资料,包括性别、年龄、相关病史及用药情况等。所有患者第二天于我院内分泌科代谢中心由专人测量身高、体重、腰围、静息血压;空腹抽取静脉血检测患者血生化指标;于营养科由同一工作人员进行人体成分测定并制定饮食处方;CPET组于康复医学科进行心肺运动试验,同一名康复医学科医生对所有患者制定运动处方。

1.2.2 研究质量及安全控制:①研究质量:每例患者的饮食及运动方案均居家执行,由内分泌科医师、营养师、康复科医师为主建立MDT团队,为每例患者建立微信群,群内包括内分泌科医师、营养师、康复科医师、患者本人及家属,采用线上线下相结合的方式进行管理。线上为每日上传三餐饮食图片及运动手环运动相关数据截图。线下每周电话访视一次,每月面对面现场访视一次。根据患者线上上传的饮食及运动情况计算患者依从性,每周要求打卡5天以上提示依从性好,本研究的所有患者在严格管理下均完成研究。②研究安全:由专职康复科医师全程线上线下指导,所有患者均在入组前通过询问病史、症状、体格检查及代谢指标的综合评估,入组时由康复科医师告知运动中注意事项及关节保护策略等,运动方式选择快走较为简单,不要求高强度高危运动,保证了患者的运动安全。

1.3 观察指标的测量

1.3.1 人体学指标测量:身高及体重采用欧姆龙HNNH-318身高体重分析仪。患者均于初次就诊和

试验12周结束后第二天清晨空腹由我院代谢中心同一内分泌科专职护士用同一台设备测量,身高脱鞋测量,体重留单层衣裤测量,计算BMI。腰围,患者均于初次就诊和试验12周结束后第二天清晨空腹由同一内分泌科专职护士测量,被测者站立,双脚分开25—30cm,脱掉外衣并松开皮带,腹部放松呼气时,卷尺经腋中心髂骨上缘和第十二肋骨下缘连线的中点水平围长。

1.3.2 循环指标测量:静息收缩压、静息舒张压的测量采用欧姆龙BNP-1100U型电子血压计。患者均于初次就诊和试验12周结束后第二天清晨空腹由我院代谢中心同一内分泌科专职护士用同一台设备测量。

1.3.3 人体成分分析:采用韩国进口的人体成分测定仪InBody s10测定患者体脂肪、骨骼肌、内脏脂肪面积、体脂百分比等。所有患者由同一检测者操作,测试要求被测者空腹,取除身上金属物品,光脚站立于测试金属区,双手水平外展握住测试手柄。

1.3.4 血代谢指标:患者均于初次就诊和试验12周结束后第二天清晨空腹采肘正中静脉血10ml,采用全自动生化分析仪检测谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)、空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglycerides, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein-cholesterol, HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein-cholesterol, LDL-C)、尿酸等生化指标。糖化血红蛋白(glycosylated hemoglobin, HbA1C)采用高压液相色谱法测定。

1.4 实施过程

1.4.1 饮食处方的制定:所有患者均采用限能量平衡膳食,按标准体重 $\times 20\text{kcal}$ 计算每日能量摄入量,以蛋白质20%、脂肪30%、碳水化合物50%的比例制定饮食处方。

1.4.2 运动处方的制定:CPET组和CON组均由同一康复医学科医师制定运动处方,询问病史、查体、结合辅助检查排除运动风险后运动处方居家执行。运动处方包括有氧运动处方及力量运动处方,两组患者采用同一力量运动处方,由同一名康复医学科医师教会患者力量运动训练的动作。具体为每周

1—2次四肢大肌群及核心力量训练。CPET组通过心肺运动试验精准测定患者无氧阈出现时的心率,记为 HR_{AT} ,通过佩戴运动手环实现运动心率的监测,运动手环统一为华为手环4,CPET组每例患者均自费购买佩戴,每例患者运动时均将手环佩戴于右手手腕,由同一名康复医师教会患者运动时手环的使用方法。制定有氧运动处方如下:运动方式为快走,运动强度为维持心率在 $(HR_{AT} \pm 10)$ 次/分,运动时间为每次持续30min—60min(不包含热身及拉伸时间),运动频率为5—7次/周,运动过程为热身运动-基本运动-拉伸运动,运动中注意补水。CON组不进行心肺运动试验,直接由康复医师告知每周5—7次的快走运动,每次持续30min—60min(不包含热身及拉伸时间),运动强度不做限定。

1.4.3 心肺运动试验的实施:测试采用瑞士席勒公司CS-200运动心肺测试仪完成。详细询问受试者病史及个人资料并签署心肺运动试验知情同意书后开始测试。测试采用负荷连续递增的踏车运动方案。系统完成定标后患者佩戴心肺检测装置进行静态心电图、静息血压检测及静态肺通气功能检查,然后调整座椅至适宜高度后坐于功率自行车上,开始3min受试者保持静息至机器各项数据稳定,然后进行3min无负荷热身踏车运动,接着进行负荷运动连续递增(即运动递增期,递增功率为10—30W/min,平均递增功率的选择参考患者预计值、有无运动习惯等,运动递增时间控制在8min—10min),运动中功率自行车的脚踏转速均保持 (60 ± 5) r/min,达到终止指征后进行3min无负荷踏车(恢复期)后结束试验。运动全程动态监测患者血氧饱和度、心率、心电图及肺通气指标,每2min测量一次血压。应用V-slope法确定无氧阈。出现下列任一情况则终止试验:①胸闷、气短、心悸或感到疲劳要求终止;②心率达到预计最大心率 $(220 - \text{年龄})$;③心电图缺血型ST段压低 ≥ 1.0 mV或出现严重心电不良事件;④运动中血压下降 ≥ 10 mmHg或严重过高血压反应(如收缩压 > 220 mmHg);⑤踏车速率无法维持60r/min。CPET组30例均顺利测得无氧阈值。

1.5 统计学分析

采用SPSS 22统计软件,计量资料符合正态分布的连续变量以均数 $\pm$ 标准差表示,组间各指标均

数比较采用独立样本 t 检验,组内各指标干预前及干预12周均数比较采用配对样本 t 检验, $P < 0.05$ 为差异具有显著性意义。

2 结果

2.1 CPET组与CON组的基线资料比较

两组患者性别构成、年龄及基础体重、身高、腰围、血压、人体成分等指标差异无显著性意义($P > 0.05$)(表1)。

2.2 两组患者干预12周结束时各项指标与基线的变化结果

2.2.1 体重变化:两组患者干预12周后体重较干预前均明显下降,组内前后比较差异有显著性意义($P < 0.05$)。CPET组干预后体重下降更明显,CPET组的体重变化值跟CON组相比差异具有显著性意义($P < 0.05$)(表2)。

2.2.2 腰围变化:两组患者干预12周后腰围均明显下降,组内前后比较差异有显著性意义($P < 0.05$);干

表1 两组患者基线临床资料 ($\bar{x} \pm s$)				
指标	CPET组	CON组	F值	P值
年龄(岁)	33.53 $\pm$ 7.70	33.47 $\pm$ 7.91	0.004	0.974
男性[例(%)]	16(53.3)	16(53.3)	-	-
身高(cm)	167.47 $\pm$ 8.23	167.13 $\pm$ 9.34	1.760	0.884
体重(kg)	93.48 $\pm$ 13.62	91.38 $\pm$ 11.66	0.295	0.525
BMI	33.26 $\pm$ 3.64	32.63 $\pm$ 2.35	6.677	0.432
腰围(cm)	105.02 $\pm$ 8.82	103.72 $\pm$ 7.68	1.189	0.545
SBP(mmHg)	134.73 $\pm$ 15.96	135.50 $\pm$ 14.5	0.002	0.846
DBP(mmHg)	79.77 $\pm$ 10.70	77.97 $\pm$ 9.68	0.169	0.497
骨骼肌(kg)	32.20 $\pm$ 6.34	32.18 $\pm$ 6.37	0.440	0.990
体脂肪(kg)	36.14 $\pm$ 7.62	34.08 $\pm$ 6.27	1.769	0.258
F%(%)	38.73 $\pm$ 6.05	37.56 $\pm$ 6.19	0.097	0.465
VAT(cm ²)	162.08 $\pm$ 36.35	152.15 $\pm$ 31.28	0.958	0.261
AST(U/L)	45.62 $\pm$ 49.02	35.43 $\pm$ 25.64	2.365	0.317
ALT(U/L, $\bar{x} \pm s$)	60.34 $\pm$ 53.17	59.70 $\pm$ 41.28	0.904	0.959
UA(μ mol/L)	425.37 $\pm$ 125.45	410.04 $\pm$ 112.60	0.133	0.624
TG(mmol/L)	2.36 $\pm$ 1.38	2.55 $\pm$ 1.76	0.004	0.635
TC(mmol/L)	5.48 $\pm$ 1.05	5.45 $\pm$ 1.38	0.706	0.946
LDL-c(mmol/L)	3.21 $\pm$ 0.81	3.43 $\pm$ 1.27	3.816	0.424
HDL-c(mmol/L)	1.06 $\pm$ 0.16	1.01 $\pm$ 0.25	2.740	0.421
HbA1c(mmol/L)	6.67 $\pm$ 2.21	6.04 $\pm$ 1.35	4.713	0.186
FBG(mmol/L)	7.37 $\pm$ 3.49	6.95 $\pm$ 2.95	1.959	0.618

注:①BMI:身体质量指数;②F%:体脂百分比;③VAT:内脏脂肪面积;④AST:谷草转氨酶;⑤ALT:谷丙转氨酶;⑥UA:尿酸;⑦TG:甘油三酯;⑧TC:总胆固醇;⑨LDL-c:低密度脂蛋白胆固醇;⑩HDL-c:高密度脂蛋白胆固醇;⑪HbA1c:糖化血红蛋白;⑫FBG:空腹血糖。-:未进行统计学分析。

干预12周后两组腰围变化值差异明显,CPET组腰围下降幅度明显优于CON组,差异具有显著性意义($P<0.05$)。

2.2.3 血压变化:两组患者干预12周后静息收缩压、舒张压均明显下降,组内前后比较差异有显著性意义($P<0.05$);干预12周后两组血压变化值差异明显,较CON组相比,CPET组血压下降幅度更明显,静息舒张压差异具有显著性意义($P<0.05$)。

2.2.4 体成分变化:两组患者干预后体脂肪、内脏脂肪面积、体脂百分比均明显下降,组内前后比较差异有显著性意义($P<0.05$);组间比较,CPET组体脂肪、体脂百分比及内脏脂肪面积下降更显著,3项指标

干预前后变化值两组比较差异有显著性意义(均 $P<0.01$);干预后CPET组骨骼肌较干预前有所增加,CON组较干预前骨骼肌轻微减少,组间比较差异无显著性意义($P>0.05$)。

2.2.5 代谢指标变化:两组患者干预12周后各项代谢指标改善明显,组内前后比较差异有显著性意义($P<0.05$);组间比较,CPET组各代谢指标改善明显优于CON组,其中总胆固醇下降在CPET组跟CON组相比差异具有显著性意义($P<0.05$),而其它各项指标数值变化在试CPET组较CON组更明显,但差异未达显著性意义($P>0.05$)。

表2 患者干预前后各指标的比较

($\bar{x}\pm s$)

各项指标	CPET组12周	CON组12周	CPET组 δ	CON组 δ	F值	P值
体重(kg)	84.90 $\pm$ 12.55	86.41 $\pm$ 12.26	8.58 $\pm$ 5.47	4.97 $\pm$ 3.23	4.017	0.003*
BMI	30.20 $\pm$ 3.35	30.83 $\pm$ 2.63	3.06 $\pm$ 1.92	1.80 $\pm$ 1.19	4.117	0.004*
腰围(cm)	96.48 $\pm$ 8.23	97.45 $\pm$ 8.24	8.53 $\pm$ 5.13	6.07 $\pm$ 4.13	1.500	0.045*
SBP(mmHg)	125.30 $\pm$ 14.30	128.83 $\pm$ 13.28	9.43 $\pm$ 14.12	6.67 $\pm$ 10.63	1.866	0.395
DBP(mmHg)	73.53 $\pm$ 9.58	75.80 $\pm$ 8.35	6.23 $\pm$ 8.21	2.17 $\pm$ 6.68	1.479	0.04*
骨骼肌(kg)	33.00 $\pm$ 11.13	31.60 $\pm$ 6.36	-0.79 $\pm$ 9.60	0.54 $\pm$ 1.05	2.466	0.453
体脂肪(kg)	29.02 $\pm$ 7.08	30.04 $\pm$ 5.84	7.12 $\pm$ 4.50	4.18 $\pm$ 3.19	4.501	0.005*
F%(%)	34.08 $\pm$ 6.35	35.06 $\pm$ 5.94	4.65 $\pm$ 3.30	2.60 $\pm$ 2.46	2.671	0.008*
VAT(cm ²)	126.63 $\pm$ 38.58	133.85 $\pm$ 30.35	35.45 $\pm$ 21.39	18.89 $\pm$ 18.62	1.140	0.002*
AST(U/L)	21.17 $\pm$ 7.49	22.60 $\pm$ 7.96	24.46 $\pm$ 47.53	12.83 $\pm$ 25.85	2.772	0.244
ALT(U/L)	26.90 $\pm$ 19.86	32.57 $\pm$ 22.04	33.44 $\pm$ 47.73	27.13 $\pm$ 38.83	0.317	0.577
UA(μ mol/L)	407.98 $\pm$ 90.47	397.63 $\pm$ 97.50	17.39 $\pm$ 73.99	6.00 $\pm$ 81.59	0.148	0.576
TG(mmol/L)	1.73 $\pm$ 1.14	2.14 $\pm$ 1.29	0.62 $\pm$ 0.96	0.41 $\pm$ 1.42	0.946	0.505
TC(mmol/L)	4.80 $\pm$ 0.83	5.24 $\pm$ 0.93	0.67 $\pm$ 0.91	0.21 $\pm$ 0.82	0.025	0.043*
LDL-c(mmol/L)	2.77 $\pm$ 0.61	3.17 $\pm$ 0.87	0.44 $\pm$ 0.72	0.26 $\pm$ 0.67	0.08	0.321
HDL-c(mmol/L)	1.06 $\pm$ 0.16	1.04 $\pm$ 0.21	-0.01 $\pm$ 0.14	-0.02 $\pm$ 0.17	1.386	0.645
HbA1c(mmol/L)	5.38 $\pm$ 0.46	5.40 $\pm$ 0.71	1.29 $\pm$ 2.08	0.64 $\pm$ 0.93	7.938	0.124
FBG(mmol/L)	5.28 $\pm$ 0.74	5.82 $\pm$ 2.21	2.08 $\pm$ 3.04	1.13 $\pm$ 1.48	10.488	0.130

注:①BMI:身体质量指数;②F%:体脂百分比;③VAT:内脏脂肪面积;④AST:谷草转氨酶;⑤ALT:谷丙转氨酶;⑥UA:尿酸;⑦TG:甘油三酯;⑧TC:总胆固醇;⑨LDL-c:低密度脂蛋白胆固醇;⑩HDL-c:高密度脂蛋白胆固醇;⑪HbA1c:糖化血红蛋白;⑫FBG:空腹血糖。CPET组 δ 为CPET组基线值-CPET组干预12周时的数据;CON组 δ 为CON组基线值-CON组干预12周时的数据。

*CPET组 δ 与CON组 δ 差异具有显著性意义($P<0.05$)。

3 讨论

我们的研究表明,基于心肺运动试验精准测定运动强度制定的有氧运动处方和常规运动处方都能对中心型肥胖患者的人体成分、代谢指标和循环系统带来积极改变。相比而言,前者效果更佳。同时我们的研究也说明,经过12周的运动训练就能使中心型肥胖患者获益。

3.1 精准运动处方对中心型肥胖患者人体成分的

影响

本研究中两组患者体脂肪总量、体脂百分比、内脏脂肪面积都跟入组前相比显著降低,这与Sanal E等^[6]的研究结果一致,说明运动确实能改善中心型肥胖患者的人体成分。运动是总能量消耗中变化最大同时又最容易改变的部分,可以明显提高代谢率,促进脂肪量和体重的减少^[7]。有氧结合力量训练可以通过减少体内总脂肪和内脏脂肪来有利地改变身

体成分,这对于中心型肥胖的治疗至关重要。在我们的研究中,CPET组患者的体脂肪总量、体脂百分比、内脏脂肪面积、体重(以及BMI)及腰围改善更明显,同时,CPET组骨骼肌总量有所增加,CON组骨骼肌总量稍微减少。其中,腰围反映了内脏脂肪组织的堆积,是心血管疾病的独立危险因素^[8],与BMI相比,能更好地预测肥胖相关健康风险。我们的试验结果与Willis LH等^[9]的研究相吻合。我们考虑这种差异与两组患者的有氧运动处方中运动强度不同有关,两组患者力量运动处方相同,有氧运动处方中运动频率、运动时间、运动注意事项都相同,CPET组通过心肺运动测试获得燃脂心率,从而给予个体化精准运动强度,CON组没有运动强度的限制。这说明两种不同强度的运动都能降低中心型肥胖患者心血管疾病的风险,同时,心肺运动测试过程中全程实时监测了患者从安静状态逐渐增加负荷直至力竭的动态心电图及动态血压,可以实时提示测试中的不良事件如ST段压低、室性早搏、肺功能低下等,根据测试结果制定运动处方时避免了运动风险,更好地保证了患者的安全。所以,我们认为基于心肺运动试验制定的运动处方更安全有效。

3.2 精准运动处方对中心型肥胖患者代谢指标的影响

美国心脏协会指出,中心型肥胖与代谢综合征以及其他健康相关的危险因素有显著联系^[10]。中心型肥胖与心血管疾病发病率较高和全因死亡率增加相关。本研究中,两组患者经运动训练后代谢指标均较干预前明显改善,这与以往文献证据相一致。Chang GR等^[11]发现运动训练可以降低肥胖小鼠空腹血糖、增强胰岛素敏感性和胰腺 β 细胞功能。缺乏运动被认为是2型糖尿病和其他代谢性疾病的潜在危险因素,而运动(尤其是有氧运动)可能会增强脂肪氧化,这与肥胖症患者的胰岛素敏感性改善相关^[12]。也有大量证据表明,有氧耐力训练可以控制血糖^[13]、改善内皮功能^[14]、提高肾小球滤过率^[15]、改变脂蛋白粒径^[16]、提高高密度脂蛋白浓度^[17]并提高生活质量^[18]。AST、ALT是检验肝功能的重要血液指标,有研究发现^[19],有氧运动可以降低非酒精性脂肪肝患者的AST、ALT,其机制是运动可减轻、减少脂肪在内脏组织如肝脏的沉积,促进肝脏脂

肪酸氧化,维持脂肪组织的线粒体功能,减轻肝脂肪变性。本研究中,两组患者干预后AST、ALT均较干预前明显下降,CPET组下降更多,但组间差异不显著。唐宇等^[20]研究发现,有氧运动联合力量训练可增强高尿酸血症患者肾脏对尿酸的排泄,本研究中两组患者饮食方案相同,嘌呤摄入相当,两组患者运动干预后血尿酸均有下降,结果与文献一致。力量训练可以增加肌肉力量、防止衰老导致的肌肉减少症、保持骨矿物质密度和减少体内脂肪^[21]。从绝对值上看,CPET组的各项代谢指标改善更明显,这与CPET组通过心肺运动试验制定的精准有氧运动处方相关,CON组虽然也进行了每日快走,但运动强度不能明确。本研究中两组患者代谢指标较干预前降低显著,但组间差异不明显,考虑可能的原因:①对照组虽然有有氧运动强度不确定,但两组有氧运动强度都不高,而低中强度的有氧运动都能对代谢产生积极影响;②代谢指标的改善较缓慢,本研究干预周期不足。因此,后期研究可考虑延长干预周期观察组间差异。

3.3 精准运动处方对中心型肥胖患者循环系统的影响

本研究中,两组患者的运动训练对循环参数都产生了积极影响,两组患者静息SBP和DBP都有所降低,其中CPET组静息SBP和DBP的下降更显著。静息SBP和DBP是公认的适用于心血管疾病的标志物。Berent R等^[22]对心血管疾病患者进行耐力结合力量训练后也发现,静息DBP、静息SBP和静息HR均降低。Moraes WM等^[23]在老年高血压患者中进行耐力结合力量训练后获得了有关静息SBP和静息DBP的类似结果。Seals DR等^[24]研究表明,血压轻度升高的绝经后妇女进行常规耐力训练12周后,其静息SBP和静息DBP也基本恢复正常。这与本研究结果一致。既往文献证明,长期的运动训练确实可提高患者自主神经系统的活性,促进内皮细胞释放一氧化氮,舒张外周血管,从而降低血压^[25],同时还可使心肌收缩力增强,提升左室功能^[26]。

3.4 心肺运动试验应用于中心型肥胖患者的价值

精准有氧运动处方依据无氧阈值出现时的心率来确定运动强度。无氧阈是指人体在递增负荷的运动过程中能量消耗从有氧代谢转为由有氧代谢和无

氧代谢共同供应的转折点,在心肺运动试验的九宫格图表中,可以通过V-Slope斜率法直接测定患者的无氧阈值^[27-28]。文献研究表明,无氧阈是个体化运动处方中运动强度的推荐指标,基于无氧阈值能精准指导有氧运动处方的制定^[29]。随意有氧运动不限定患者运动的强度。

人体在运动过程中,随着运动强度的增加,机体的总能量消耗随之增加,供能物质参与比例也随之变化。糖参与供能的比例随运动强度的增加而增加,脂肪参与供能的比例则随运动强度的增加而减少。当机体运动强度达到无氧阈值时,肌肉收缩的能量供应主要由有氧氧化供能系统提供,此时脂肪的氧化量和脂肪参与的供能量最大,为运动改善代谢状态提供了最适宜的运动强度。而超过无氧阈值后的运动强度则以无氧供能为主,由于肌细胞内乳酸的生成一定程度上抑制了脂肪氧化酶系统的活性,因此不利于脂肪动员。明显低于无氧阈值的运动强度又无法充分调动碳水化合物和脂肪的供能,能量消耗十分有限,也无法达到运动减重的效率。因此,运动减重时的运动强度以无氧阈值水平附近为佳。本试验中,CPET组采用的运动强度为($HR_{AT} \pm 10$)次/分,因此运动效率优于CON组。肥胖症患者在运动减重前进行心肺运动试验测试,一方面测试中完成了全程的动态心电图、动态血压以及动态血氧饱和度的监测,保证了患者运动过程的安全,避免运动减重过程中心肺不良事件的发生;同时通过气体代谢参数测定其无氧阈值可以选择适宜的运动强度、确保运动减重的最佳效果。

本研究的临床意义在于通过对中心型肥胖患者制定并执行精准的心肺运动试验测试,一方面测试中完成了全程的动态心电图、动态血压以及动态血氧饱和度的监测,保证了患者运动过程的安全,避免运动减重过程中心肺不良事件的发生;同时通过气体代谢参数测定其无氧阈值可以选择适宜的运动强度、确保运动减重的最佳效果。

本研究的局限性:①纳入该研究的样本量偏小;②研究周期较短,两组患者仅观察了12周,而代谢指标的变化相对较慢,需要更长周期的随访;③该研究为单中心临床研究。因此,未来应考虑进行大样本的长周期多中心研究,以得出更准确的结论,同时对精准运动干预改善体成分及代谢指标的确切机制,还需要进行动物及细胞层面的基础研究。

参考文献

- [1] Hales CM, Fryar CD, Carroll MD, et al. Trends in obesity and severe obesity prevalence in US youth and adults by sex and age, 2007—2008 to 2015—2016[J]. JAMA, 2018, 319(16):1723—1725.
- [2] Wang Y, Beydoun MA, Min J, et al. Has the prevalence of overweight, obesity and central obesity levelled off in the United States? trends, patterns, disparities, and future projections for the obesity epidemic[J]. Int J Epidemiol, 2020, 49(3):810—823.
- [3] Jensen MD, Ryan DH, Apovian CM, et al. 2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: a report of the American college of cardiology/American heart association task force on practice guidelines and the obesity society[J]. Circulation, 2014, 129(25 Suppl 2):S102—S138.
- [4] Siu PM, Yu AP, Chin EC, et al. Effects of Tai Chi or conventional exercise on central obesity in middle-aged and older adults: a three-group randomized controlled trial[J]. Ann Intern Med, 2021, 174(8):1050—1057.
- [5] 中华医学会, 中华医学会杂志社, 中华医学会全科医学分会, 等. 肥胖症基层诊疗指南(2019年)[J]. 中华全科医师杂志, 2020, 19(2):95—101.
- [6] Sanal E, Ardic F, Kirac S. Effects of aerobic or combined aerobic resistance exercise on body composition in overweight and obese adults: gender differences. a randomized intervention study[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2013, 49(1): 1—11.
- [7] Gorman DJ, Karlsson HK, McQuaid S, et al. Exercise training increases insulin-stimulated glucose disposal and GLUT4 (SLC2A4) protein content in patients with type 2 diabetes[J]. Diabetologia, 2006, 49(12):2983—2992.
- [8] Ross R, Neeland IJ, Yamashita S, et al. Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a consensus statement from the IAS and ICCR working group on visceral obesity[J]. Nat Rev Endocrinol, 2020, 16(3):177—189.
- [9] Willis LH, Slentz CA, Bateman LA, et al. Effects of aerobic and/or resistance training on body mass and fat mass in overweight or obese adults[J]. J Appl Physiol, 2012, 113(12): 1831—1837.
- [10] Després JP, Lemieux I. Abdominal obesity and metabolic syndrome[J]. Nature, 2006, 444(7121):881—887.
- [11] Chang GR, Hou PH, Chen WK, et al. Exercise affects blood glucose levels and tissue chromium distribution in high-fat diet-fed C57BL6 mice[J]. Molecules, 2020, 25(7): 1658.
- [12] Douen AG, Ramlal T, Rastogi S, et al. Exercise induces recruitment of the "insulin-responsive glucose transporter".

- evidence for distinct intracellular insulin and exercise-recruitable transporter pools in skeletal muscle[J]. *J Biol Chem*, 1990,265(23):13427—13430.
- [13] Church TS, Blair SN, Coreham S, et al. Effects of aerobic and resistance training on hemoglobin A1c levels in patients with type 2 diabetes; a randomized controlled trial[J]. *JAMA*,2010,304(20):2253—2262.
- [14] Swift DL, Earnest CP, Blair SN, et al. The effect of different doses of aerobic exercise training on endothelial function in postmenopausal women with elevated blood pressure: results from the DREW study[J]. *Br J Sports Med*, 2012,46(10):753—758.
- [15] Chintam K, Chang AR. Strategies to treat obesity in patients with CKD[J]. *Am J Kidney Dis*, 2021, 77(3):427—439.
- [16] Kraus WE, Houmard JA, Duscha BD, et al. Effects of the amount and intensity of exercise on plasma lipoproteins[J]. *N Engl J Med*,2002,347(19):1483—1492.
- [17] Kodama S, Tanaka S, Saito K, et al. Effect of aerobic exercise training on serum levels of high-density lipoprotein cholesterol: a meta-analysis[J]. *Arch Intern Med*,2007, 167(10):999—1008.
- [18] Myers VH, McVay MA, Brashear MM, et al. Exercise training and quality of life in individuals with type 2 diabetes: a randomized controlled trial[J]. *Diabetes Care*,2013,36(7):1884—1890.
- [19] Haus JM, Solomon TP, Kelly KR, et al. Improved hepatic lipid following composition short-term exercise in nonalcoholic fatty liver disease[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2013,98(7):E1181—E1188.
- [20] 唐宇,温永霞,张文旭.有氧运动联合力量训练对老年高尿酸血症患者的影响[J].*中国老年保健医学*,2021,19(1):15—17.
- [21] Christensen RH, Wedell-Neergaard AS, Lehrskov LL, et al. Effect of aerobic and resistance exercise on cardiac adipose tissues: secondary analyses from a randomized clinical trial[J]. *JAMA Cardiol*,2019,4(8):778—787.
- [22] Berent R, von Duvillard SP, Crouse SF, et al. Resistance training dose response in combined endurance-resistance training in patients with cardiovascular disease: a randomized trial[J]. *Arch Phys Med Rehabil*,2011,92(10):1527—1533.
- [23] Moraes WM, Souza PR, Pinheiro MH, et al. Exercise training program based on minimum weekly frequencies: effects on blood pressure and physical fitness in elderly hypertensive patients[J]. *Rev Bras Fisioter*,2012,16(2):114—121.
- [24] Seals DR, Silverman HG, Reiling MJ, et al. Effect of regular aerobic exercise on elevated blood pressure in postmenopausal women[J]. *Am J Cardiol*,1997,80(1):49—55.
- [25] Manfredini F, Malagoni AM, Mandini S, et al. Sport therapy for hypertension: why,how,and how much?[J]. *Angiology*,2009,60(2):207—216.
- [26] Giallauria F, Acampa W, Ricci F, et al. Exercise training early after acute myocardial infarction reduces stress-induced hypoperfusion and improves left ventricular function[J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*,2013,40(3):315—324.
- [27] Gar C, Rottenkolber M, Haenelt M, et al. Altered metabolic and hormonal responses to moderate exercise in overweight/obesity[J]. *Metabolism*, 2020(107):154219.
- [28] Beaver W, Wasserman K, Whipp B. A new method for detecting the anaerobic threshold by gas exchange[J]. *J Appl Physiol*(1985),1986,60(6):2020—2027.
- [29] 沈逸华,林沁,谢良地.心肺运动试验的指标及结果解读[J].*中华高血压杂志*,2019,27(1):84—88.