

# 有氧运动干预对肥胖人群心肺适能及代谢综合征指标的影响

张高飞,王琳琳,向云平,王二霞

(周口师范学院 体育学院,河南 周口 466000)

**摘要:**根据代谢健康状况分析了 12 周有氧运动干预对 82 名中年肥胖女性肥胖、心肺适能和代谢综合征指标的影响。12 周有氧运动干预后,肥胖指标、心肺适能水平随时间出现显著性差异;组间的血压变化出现显著性差异;甘油三酯和血糖随时间出现显著性差异,甘油三酯和血糖在时间和组之间存在交互作用;口服糖耐量试验的变化在时间、组间均存在交互作用,血糖水平实现了有效降低。研究结果表明,12 周有氧运动干预对肥胖中年妇女有积极的健康影响,尤其是对代谢不健康的肥胖人群在甘油三酯、血糖和糖耐量方面具有相对较大的运动学效果。

**关键词:**代谢健康状况;有氧运动;肥胖;心肺适能;代谢综合征

**中图分类号:**G807

**文献标志码:**A

超重和肥胖已成为现今世界范围内严重威胁人类健康的公共健康问题。超重和肥胖人群呈不断增长趋势。根据 2020 年中国居民营养与慢性病状况报告显示,成年居民超重率和肥胖率分别为 34.3% 和 16.4%<sup>[1]</sup>。此外,就肥胖的主观认识率而言存在着一个更大的问题,即 90% 以上成年肥胖者没有意识到肥胖或得不到适当的管理<sup>[2]</sup>。肥胖会增加过早死亡的风险,并且是高血压、高脂血症、2 型糖尿病、心血管疾病、脑卒中等多种代谢性并发症的主要危险因素<sup>[3]</sup>。但并不是所有的肥胖者都会出现代谢性并发症(代谢异常肥胖者, Metabolically Unhealthy Obese, MUO)。代谢健康肥胖者(Metabolically Healthy but Obese, MHO)<sup>[4]</sup>除肥胖指标外,没有如总胆固醇(Total Cholesterol, TC)、甘油三酯(Triglycerides, TG)、高密度脂蛋白胆固醇(High Density Lipoprotein Cholesterol, HDLC)以及血糖(Bloodglucose, BG)等标准化的分类标准,通常以代谢综合征指标和胰岛素抵抗指标为标准<sup>[5]</sup>。

随着超重和肥胖人群不断增长,所引起的一系列健康问题逐渐凸显。预防或治疗肥胖症及其并发症在中国乃至世界范围内已成为亟须解决的社会问题。根据代谢健康状况针对肥胖人群的身体活动要素例如运动强度、运动类型、运动时间和运动频率等都没有得到充分有效的评估。从体育科学和预防医学角度来看,评估运动等身体活动因素对肥胖、心肺适能及代谢健康的影响非常有意义。本研究根据代谢健康状况观察 12 周有氧运动干预前后肥胖、心肺适能及代谢综合征指标的变化,并探析 12 周有氧运动干预对代谢健康肥胖人群和代谢不健康肥胖人群的运动学效果。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

本研究的对象是 82 名年龄在 40~60 岁之间没有任何特殊疾病的中年肥胖女性。作为基本检查,对研究对象进行了基础身体测量、基础医学检查以及病史调查,将正在服用影响血压或体质量的药物,或服用影响碳水化合物、蛋白质和脂质代谢的药物的受试者排除在研究之外。

收稿日期:2022-07-24;修回日期:2022-10-22.

基金项目:国家社科基金(21BTY113);河南省软科学研究计划项目(222400410366)。

作者简介(通信作者):张高飞(1986—),男,河南开封人,周口师范学院讲师,博士,研究方向为运动处方, E-mail: 727037912@qq.com.

参考 MS-CDS2004(中华医学会糖尿病学分会建议代谢综合征的诊断标准(2004 版))对研究对象进行分类。空腹 BG 浓度 $\geq 6.1$  mmol/L(1.10 g/L)或餐后 2 h PG 浓度 $\geq 7.8$  mmol/L(1.40 g/L),收缩压(Systolic Blood Pressure, SBP) $\geq 140$  mmHg 或舒张压(Diastolic Blood Pressure, DBP) $\geq 90$  mmHg(1 mmHg = (20 265/152) Pa),空腹血 TG 浓度 $\geq 1.7$  mmol/L(1.50 g/L),空腹血 HDLC 浓度 $< 1.0$  mmol/L(0.39 g/L),腰围 $\geq 85$  cm。代谢综合征发病指数(Metabolic Syndrome Incidence Index, MSII)。基于上述风险因素计算,每符合一项加一分。代谢综合征发病指数 $> 2$ 分,归为 MUO 组;否则归为 MHO 组。肥胖的标准以世界卫生组织亚太地区标准为基础,体质量指数(Body Mass Index, BMI) $\geq 25$  kg/m<sup>2</sup> 为肥胖, BMI $< 25$  kg/m<sup>2</sup> 为正常。研究对象的基本情况详见表 1。

表 1 研究对象的基本情况  
Tab. 1 Basic information of subjects

组别	年龄/岁	体质量/kg	身高/cm	BMI/ (kg·m <sup>-2</sup> )	体脂率/%	SBP/ (20 265×152 <sup>-1</sup> Pa)	DBP/ (20 265×152 <sup>-1</sup> Pa)
MHO(45 人)	45.84±7.07	63.83±6.50	158.54±5.12	25.4±2.41	33.66±2.23	111.90±9.87	69.01±7.90
MUO(37 人)	46.57±7.22	65.95±7.23	157.35±4.85	26.61±2.40	34.35±2.44	126.62±14.82	79.09±9.76
全体	46.17±7.11	64.79±6.88	158.00±5.01	25.95±2.47	33.97±2.34	118.54±14.31	73.56±10.09

## 1.2 分析项目和分析方法

身体形态指标包括身高、体质量、体质量指数、体脂率、腰围和腰臀比(Waist Hip Ratio, WHR)。使用人体成分分析仪(InBody270, 中国)测量身高、体质量、BMI、体脂率,使用卷尺测量腰围和臀围,并计算 WHR。

测量血压前安静状态休息 30 min,然后使用自动血压计(Jawon Medical, 韩国)测量血压。测量两次血压,取平均值进行数据处理,两次测量的时间间隔为 3 min。

分别在 12 周有氧运动干预前后的早晨,受试者在空腹状态下采集肘静脉血 5 mL,并使用普通离心机分离血浆,然后将血清样本委托第三方检测机构美年大健康体检中心测定 TC、TG、HDLC 以及 BG。

为了解 12 周有氧运动干预后胰岛  $\beta$  细胞功能和机体对血糖的调节能力,对所有受试者进行口服葡萄糖耐量试验(Oral Glucose Tolerance Test, OGTT)。在口服无水葡萄糖(75 g)之前,30 min、60 min、90 min 和 120 min 后分别采集受试者的静脉血,然后使用血糖分析仪(OneTouch Verio Flex, 中国)测定 BG。

心肺适能(cardio-respiratory fitness, CRF)使用运动跑台中的 Bruce 方案进行测定。考虑到测试的安全性,首先按年龄计算出每分钟最大心率,当目标心率达到最大心率的 85%时测算单位时间单位体质量摄氧量  $V_{85}$ 。 $V_{85}$ (次最大运动负荷测试)将用作心肺适能的指标。

## 1.3 运动计划

根据美国运动医学学会(American College of Sports Medicine, ACSM)关于肥胖症的运动处方建议,有氧运动计划总共实施 12 周,每周 3 次,每次 60 min。运动强度控制:第 1~2 周最大摄氧量强度的 50%,第 3~8 周最大摄氧量强度的 60%,第 9~12 周最大摄氧量强度的 70%。

关于运动强度采用跑台 Bruce 方案测定,利用每分钟摄氧量和每分钟心率之间的个体回归方程,计算出最大摄氧量强度的 50%~70%对应的每分钟心率。此外,考虑到参加运动计划后心肺适能水平的提高,运动计划实施 6 周后重新进行运动负荷试验,重新调整个体运动强度。

运动类型为快走和慢跑运动,运动前后分别进行 10 min 以静态拉伸和动态拉伸为主的热身活动和放松活动。

## 1.4 数据处理

所有数据均使用平均值±标准差表示,采用 Pearson 相关分析分析组间和组内测量变量之间的相关性,采用双因素方差分析分析 12 周有氧运动干预前后的组间差异。使用 SPSS 25.0 在  $\alpha = 0.05$  水平上检验所有统计数据的统计学意义。

## 2 研究结果

不同受试对象测量指标的相关性见表 2。如表 3 所示,运动干预后 MHO 和 MUO 的体质量均出现显著

性下降,且组间、时间和组之间无交互作用.体脂率、BMI、腰围和 WHR 也出现了与体质量相似的变化趋势.

表 2 不同受试对象测量指标的相关性

Tab. 2 Correlation of measurement indexes of different subjects

组别	测量指标	SBP	DBP	TG 质量浓度	TC 质量浓度	血糖质量浓度	HDLC 质量浓度
全体	心肺适能	-0.048	-0.106	0.255 *	-0.016	-0.018	0.051
	体质量	0.278 *	0.211	0.257 *	0.115	0.198	-0.116
	体脂率	0.281 **	0.263 *	0.136	0.171	0.126	-0.064
	BMI	0.356 **	0.308 **	0.299 **	0.087	0.271 *	-0.105
	腰围	0.261	0.228 *	0.098	0.065	0.176	-0.051
	腰臀比	0.192	0.212	-0.091	0.048	0.167	-0.002
	MSII	0.615 **	0.571 **	0.540 **	0.048	0.167	-0.445 **
MHO	心肺适能	-0.290	-0.262	0.092	-0.031	0.019	0.164
	体质量	0.321 *	0.199	-0.019	-0.62	-0.015	-0.066
	体脂率	0.493 **	0.416 **	0.089	0.173	0.143	0.222
	BMI	0.426 **	0.325 *	0.173	0.058	0.129	0.139
	腰围	0.302 *	0.168	-0.016	0.057	-0.001	0.146
	腰臀比	0.228	0.157	-0.054	0.079	0.001	0.153
	MSII	0.201	0.068	0.306 *	-0.001	0.233	-0.476 **
MUO	心肺适能	0.021	-0.116	0.377 *	0.021	-0.137	-0.025
	体质量	0.176	0.119	0.369 *	0.339 *	0.236	-0.070
	体脂率	0.061	0.045	0.065	0.191	0.056	-0.352 *
	BMI	0.165	0.119	0.248	0.162	0.257	-0.274
	腰围	0.149	0.191	0.061	0.097	0.223	-0.256
	腰臀比	0.167	0.259	-0.193	0.021	0.233	-0.159
	MSII	0.503 **	0.498 **	0.224	0.204	0.183	-0.118

注: \*  $P < 0.05$ ; \*\*  $P < 0.01$ ,全文同.

运动干预后 MHO 和 MUO 的 SBP 和 DBP 均无明显下降,但组间均具有显著性差异,且时间和组之间无交互作用.值得注意的是,MUO 组在 12 周有氧运动干预后 SBP 和 DBP 均出现了略微下降,虽然没有统计学上的显著性变化,但呈现出了积极的变化趋势.

运动干预后 MHO 和 MUO 的 TC 均显著降低,且组间、时间和组之间无交互作用.TG 随着 12 周有氧运动干预并没有出现显著性变化,但组间、时间和组之间存在交互作用.

另一方面,运动干预后 HDLC 并没有出现显著性变化,但组间存在交互作用.代谢综合征发病率指数相对较低的 MHO 组显示出了较高的 HDLC 水平.运动干预后 MHO 和 MUO 的 BG 水平均出现了显著性降低,且组间、时间和组之间均出现了交互作用.即运动干预后 MUO 组 BG 水平较 MHO 组出现了更加显著性的下降.

运动干预前,MHO 组和 MUO 组血糖质量浓度随时间的变化均出现了显著性差异,并且组间、时间和组之间也存在交互作用(表 4).通过对交互作用的事后分析发现,运动干预前两组血糖质量浓度在 60 min 测量时间点存在最大差异.MUO 组血糖质量浓度在各测量时间点均呈现较高水平,即使在 120 min 下降至平均 1.514 1 g/L,仍处于危险区间.另一方面,运动干预后 MHO 组和 MUO 组血糖质量浓度随时间的变化均出现了显著性差异,且组间也存在交互作用,但时间和组之间不存在交互作用.血糖质量浓度的变化规律与运动干预前相似,但血糖质量浓度的波动幅度相对有所改善.即 MUO 组在 60 min 测量时间点上血糖质量浓度由运动干预前的最高水平平均 1.731 2 g/L 下降至运动干预后平均 1.546 9 g/L.此外,与运动干预前 120 min 平均 1.514 1 g/L 相比,血糖质量浓度也实现了有效降低.

表 3 12 周有氧运动干预前后的指标

Tab. 3 Changes of indicators after 12-week aerobic exercise intervention

指标	组	运动前	运动后	指标	组	运动前	运动后
体质量/kg	MHO	63.83±6.50	62.86±6.61*	SBP/(20 265×152 <sup>-1</sup> Pa)	MHO	111.90±9.87	112.63±10.08
	MUO	65.95±7.23	64.76±7.22**		MUO	126.62±14.82	124.28±12.70
体脂率/%	MHO	33.66±2.23	32.97±3.04*	DBP/(20 265×152 <sup>-1</sup> Pa)	MHO	69.01±7.90	69.26±7.20
	MUO	34.35±2.44	33.54±2.39*		MUO	79.09±9.76	76.89±8.65
BMI/(kg·m <sup>-2</sup> )	MHO	25.40±2.41	24.94±2.56*	TC 质量浓度/(0.01 g·L <sup>-1</sup> )	MHO	221.46±50.20	203.30±40.74**
	MUO	26.61±2.40	25.92±2.38*		MUO	216.10±47.51	204.03±41.14**
腰围/cm	MHO	90.93±6.01	84.94±5.74**	TG 质量浓度/(0.01 g·L <sup>-1</sup> )	MHO	107.35±39.69	106.94±40.79
	MUO	92.69±5.24	86.79±4.93**		MUO	157.84±66.73	127.82±59.69**
腰臀比	MHO	0.95±.04	0.92±.05**	HDLC 质量浓度/(0.01 g·L <sup>-1</sup> )	MHO	74.17±13.57	74.59±12.50
	MUO	0.95±.05	0.93±.05*		MUO	65.24±10.47	69.04±16.50*
V <sub>85</sub> /(mL·min <sup>-1</sup> ·kg <sup>-1</sup> )	MHO	23.14±4.68	25.81±4.01**	血糖质量浓度/(0.01 g·L <sup>-1</sup> )	MHO	101.85±5.25	100.55±10.49*
	MUO	24.16±3.83	25.86±3.65**		MUO	110.50±14.29	104.24±10.60**

表 4 OGTT 不同测量时间的血糖质量浓度

Tab. 4 Blood glucose levels at different measurement times of OGTT

(0.01 g/L)

血糖质量浓度	组	口服前	30 min	60 min	90 min	120 min
运动干预前	MHO	101.76±5.23	152.11±21.85	149.80±32.54	144.43±31.81	137.41±28.27
	MUO	110.50±14.29*	161.45±31.62*	173.14±43.30**	166.99±44.60**	151.41±48.49*
运动干预后	MHO	99.09±5.84	139.49±22.46	136.28±32.29	131.14±31.62	128.10±27.67
	MUO	104.24±10.52*	151.89±24.15*	154.69±38.29**	152.73±39.37**	144.54±42.07*

### 3 分析与讨论

根据 12 周有氧运动干预对肥胖指标的影响可以发现, MHO 组和 MUO 组均观察到有氧运动干预的积极效果, 且组间无交互作用. 总的来说, 本研究中实施的有氧运动(步行和慢跑)可以有效减少体内脂肪<sup>[6]</sup>, 且与代谢健康状态无关. 此外, 两组体质量平均减约 1 kg, 体脂率减幅均在 1% 以内, 运动干预的强度和数量相对较低, 但这并不是观察不到两组之间存在明显差异的充分原因. 根据能量动力学, 即使采用较高的运动强度和数量, 也不存在组间交互作用效应.

在 12 周的有氧运动干预计划后, 心肺适能水平呈现出与肥胖指标相似的趋势, 两组均显示出增加, 并且未观察到交互作用. 虽然本研究中进行的步行和慢跑锻炼并未达到有效提高心肺适能水平的适宜强度, 但两组心肺适能水平均有所增加, 表明步行和慢跑有助于提高心肺适能水平<sup>[7]</sup>. 尽管运动干预实施的强度不高, 但心肺适能水平提高了. 也可能因为本研究的对象平时没有进行有规律的运动.

血压指标显示出了与肥胖指数和心肺适能指标不同的变化趋势, MHO 组的收缩压和舒张压均显示出轻微的升高, 而 MUO 组的收缩压和舒张压则出现了降低的趋势. 但是从两组的收缩压和舒张压的平均值都处于正常或不高来看, 这种变化趋势不能看作是有意义的现象. 另外, MUO 组的收缩压和舒张压均高于 MHO 组这一现象被认为是肥胖指标和代谢综合征发病指数的结果, MUO 组收缩压和舒张压的下降趋势虽然不是一个显著性变化, 但这与之前关于运动对正常血压有积极影响的研究结果类似.

在有氧运动干预导致的血脂和血糖的变化中, TC 和 HDLC 没有观察到交互作用, 而 TG 和血糖中则观察到了显著水平的交互作用. 首先, 对于 TG 指标在 MHO 组运动干预前后基本没有差异, 但在 MUO 组中观察到下降约 0.030 g/L, 与 TC 在运动干预前后 0.012 g/L 的下降相比, 出现了大幅度的降低. 一般来说, 血液中的 TG 与乳糜微粒和 VLDL 胆固醇高度相关<sup>[8]</sup>, 因此认为这是由于肝脏生成的内脏脂肪减少所致. 此

外,血糖指标在 MHO 组有氧运动干预前后没有明显变化,但在 MUO 组下降了约 0.06 g/L.这被认为是由于胰岛素敏感性和糖耐量机能的改善所致.运动效果在 MUO 组中比在 MHO 组中更加明显.

在 12 周有氧运动干预前的口服葡萄糖耐量试验中,在所有测量时间、组间以及时间和组之间都观察到了显著性的交互作用.一般来说,这种现象是由于定期有氧运动可以提高胰岛素敏感性而改善葡萄糖耐量所致<sup>[9]</sup>.在这项研究中可以观察到这种运动效果尤其是在健康状况相对较弱的群体中影响较大.此外,作为糖尿病诊断标准的之一的 120 min 血糖值也有所降低.

## 4 结 论

12 周有氧运动干预对中年肥胖妇女反映肥胖的各项身体形态指标均产生了有利影响,心肺适能均具有改善作用,与代谢健康无关.对于代谢健康的肥胖人群,运动干预后未发现血压变化,但对于代谢不健康的肥胖人群,呈现出了积极的变化趋势.尤其是对代谢不健康的肥胖人群(MUO)在 TG、血糖和糖耐量方面具有相对较大的运动学效果.

## 参 考 文 献

- [1] 中国居民营养与慢性病状况报告(2020年)[J].营养学报,2020,42(6):521.  
Report on nutrition and chronic diseases of residents in China(2020)[J].Acta Nutrimenta Sinica,2020,42(6):521.
- [2] WISE J.Less than 10% of obese adults accept that they have a serious weight problem,survey finds[J].The BMJ,2014,349:g6825.
- [3] ORTEGA F B,LAVIE C J,BLAIR S N.Obesity and cardiovascular disease[J].Circulation Research,2016,118(11):1752-1770.
- [4] STEFAN N,KANTARTZIS K,MACHANN J,et al.Identification and characterization of metabolically benign obesity in humans[J].Archives of Internal Medicine,2008,168(15):1609-1616.
- [5] WILDMAN R P,MUNTNER P,REYNOLDS K,et al.The obese without cardiometabolic risk factor clustering and the normal weight with cardiometabolic risk factor clustering:prevalence and correlates of 2 phenotypes among the US population(NHANES 1999-2004)[J].Archives of Internal Medicine,2008,168(15):1617-1624.
- [6] DAN N.Childhood obesity,physical activity,and exercise[J].Pediatric Exercise Science,2015,27(1):42-47.
- [7] HAN E Y,IM S H.Effects of a 6-week aquatic treadmill exercise program on cardiorespiratory fitness and walking endurance in subacute stroke patients;a PILOT TRIAL[J].Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention,2018,38(5):314-319.
- [8] DURAN E K,ADAY A W,COOK N R,et al.Triglyceride-rich lipoprotein cholesterol,small dense LDL cholesterol,and incident cardiovascular disease[J].Journal of the American College of Cardiology,2020,75(17):2122-2135.
- [9] BORGHOUTS L B,KEIZER H A.Exercise and insulin sensitivity;a review[J].International Journal of Sports Medicine,2000,21(1):1-12.

## Effects of aerobic exercise intervention on cardiopulmonary fitness and metabolic syndrome indexes in obese population

Zhang Gaofei, Wang Linlin, Xiang Yunping, Wang Erxia

(Physical Education College, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466000, China)

**Abstract:** This study analyzed the effects of 12-week aerobic exercise intervention on obesity, cardiopulmonary fitness and metabolic syndrome in 82 obese middle-aged women. After 12 weeks of aerobic exercise intervention, obesity indexes and cardiopulmonary fitness levels showed significant differences over time. TC and blood glucose showed significant differences with time, TG and blood glucose had interaction between time and groups. The changes of oral glucose tolerance test had interaction in time and between groups, and the blood glucose level was effectively reduced. The results suggest that a 12-week aerobic exercise intervention has a positive health effect on obese middle-aged women, especially obese people with poor metabolic health has a relatively large kinematic effect on TG, glucose and glucose tolerance.

**Keywords:** metabolic health status; aerobic exercise; obesity; cardiopulmonary fitness; metabolic syndrome