

· 临床研究 ·

高强度间歇运动及中等强度持续运动对中老年 2 型糖尿病患者有氧能力的影响

杨阳¹ 范朋琦² 王晨宇³¹郑州大学体育学院, 郑州 450044; ²天津天狮学院, 天津 301700; ³郑州航空工业管理学院, 郑州 450046

通信作者: 范朋琦, Email: fanpengqitj@126.com

【摘要】 目的 探讨高强度间歇运动(HIIT)及中等强度持续运动(MICT)对中老年 2 型糖尿病患者有氧能力的影响。**方法** 采用随机数字表法将 95 例 2 型糖尿病患者分为 HIIT 组(35 例)、MICT 组(35 例)及安静对照组(CON 组, 25 例)。3 组患者均维持日常生活习惯不变, HIIT 组和 MICT 组患者分别采用功率车测功仪进行 8 周相应方式运动训练, 每周运动 4 次。于训练前、训练 8 周后采用递增负荷运动试验检测各组患者最大摄氧量(VO_{2max})水平, 同时记录运动期间各组患者不良反应情况。**结果** 共有 83 例患者(87.4%)完成整个训练, HIIT 组和 MICT 组失访率分别为 12.6% 和 14.3%, 训练计划完成率(反映患者运动依从性)分别为(91.2±5.0)% 和 (88.2±4.7)%; 在整个研究期间 2 组患者均未发生严重不良事件。训练 8 周后 HIIT 组和 MICT 组 VO_{2max} 分别较训练前提高(11.5±2.3)% 和 (8.1±1.9)%, 此时组间差异仍无统计学意义($P>0.05$)。**结论** HIIT 训练或 MICT 训练均适用于中老年 2 型糖尿病患者, 且训练过程中患者耐受性及安全性良好; HIIT 训练或 MICT 训练对中老年 2 型糖尿病患者有氧能力具有相似的改善效应, 有助于提高患者生活质量。

【关键词】 高强度间歇运动; 中等强度持续运动; 2 型糖尿病; 有氧能力; 最大摄氧量

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.05.013

Effects of high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training on the aerobic capacity of middle-aged and elderly patients with type 2 diabetes

Yang Yang¹, Fan Pengqi², Wang Chenyu³¹Sports College of Zhengzhou University, Zhengzhou 450044, China; ²Tianshi College, Tianjin 301700, China;³Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou 450046, China

Corresponding author: Fan Pengqi, Email: fanpengqitj@126.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of high-intensity interval training (HIIT) and moderate-intensity continuous training (MICT) on the aerobic capacity of middle-aged and elderly patients with type 2 diabetes. **Methods** A total of 95 patients with type 2 diabetes (aged 45 to 70 years) were randomly divided into an HIIT group ($n=35$), an MICT group ($n=35$) and a sedentary control group (CON group) ($n=25$). All of the subjects maintained their daily habits, but the HIIT and MICT groups performed their corresponding exercise using a bicycle ergometer 4 times/week for 8 weeks. Before and after the 8 weeks, each subject's maximum oxygen uptake (VO_{2max}) was measured using a graded exercise test. **Results** Eighty-three of the subjects (87.4%) completed the study. The follow-up loss rate in the HIIT group was 13% and in the MICT group it was 14%. After the intervention, the average VO_{2max} had increased by (11.5±2.3)% in the HIIT group and (8.1±1.9)% in the MICT group, a difference which is not significant. **Conclusion** Either HIIT or MICT is feasible, well tolerated, safe and effective for improving the aerobic capacity of middle-aged and elderly patients with type 2 diabetes.

【Key words】 High-intensity interval training; Interval training; Moderate-intensity continuous training; Type 2 diabetes; Aerobic capacity; Maximum oxygen uptake

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.05.013

截止到 2019 年, 全球共有约 4.63 亿成年(20~79 岁)糖尿病患者, 65 岁以上人群患病率高达 20%, 且中国是目前糖尿病患者数量最多的国家(约 1.164 亿), 其老年患者(≥ 65 岁)数量达 3550 万, 给患者家庭及社会造成严重负担^[1]。相关研究发现^[2], 与健康人群

比较, 糖尿病患者有氧能力明显下降, 而有氧能力指标是心血管疾病的强预测因子; 美国运动医学会建议各种慢性病患者积极进行规律全身性有氧运动(大肌肉群参与)以提高其有氧能力^[3], 但针对中老年 2 型糖尿病患者有氧能力的推荐运动处方仍未明确。

近年来有多项针对心血管疾病及代谢性疾病患者的临床研究表明,高强度间歇运动(high-intensity interval training, HIIT)在改善机体有氧能力方面较同等热量消耗的中等强度持续运动(moderate-intensity continuous training, MICT)更有效^[4-5];但大多数研究采用的 HIIT 方案为跑台上坡跑或冲刺跑,而中老年 2 型糖尿病患者常伴有下肢活动受限、容易发生跌倒,故传统 HIIT 运动方式对其存在运动风险,采用无负重、低冲击运动方式(如功率自行车、划船器训练等)患者可能更易接受,但该观点尚未得到证实。Hwang 等^[6]将健康老年人分为 HIIT 组和 MICT 训练,采用功率车测功仪分别对其进行 8 周(4 次/周)等热量 HIIT 或 MICT 训练,发现 HIIT 运动方式安全有效可行,且受试者具有较好的耐受性。基于此,本研究分别采用功率车测功仪对老年 2 型糖尿病患者进行 HIIT 或 MICT 干预,并观察这两种训练方式对患者有氧能力的影响。

对象与方法

一、研究对象及分组

选取 2019 年 4 月至 2019 年 7 月期间居住于郑州市绿云社区确诊的中老年 2 型糖尿病患者作为研究对象,患者纳入标准包括:①均符合 2 型糖尿病诊断标准^[1];②年龄 45~70 岁;③无规律运动习惯,即最近 1 年内每周运动频率<3 次,每次运动持续时间不超过 30 min;④患者对本研究知晓并签署知情同意书。患者排除标准包括:①患有糖尿病视网膜病变、自主神经或周围神经病变、心血管病、肾病、痛风或高尿酸血症、肝病或肝炎感染、癫痫等;②患者收缩压(systolic blood pressure, SBP) ≥ 160 mmHg 或舒张压(diastolic blood pressure, DBP) ≥ 100 mmHg;③有吸烟、酗酒史;④怀孕或哺乳期妇女;⑤过去 1 年内使用激素替代治疗或口服避孕药;⑥过去 6 个月体重变化>5%等。本研究同时获得郑州大学体育学院伦理委员会审批(201903112)。共有 95 例患者入选,采用随机数字表法将其分为 HIIT 组、MICT 组及安静对照组(sedentary control group, 简称 CON 组),HIIT 组、MICT 组各有患者 35 例,CON 组有患者 25 例。

二、有氧能力测试

当前表征机体有氧能力的金标准是最大摄氧量(maximal oxygen uptake, VO_{2max}),本研究采用功率车测功仪进行递增负荷运动试验(graded exercise test, GExT),具体测试方案如下:受试者先进行 10 min 准备活动,包括 5 min 拉伸及 5 min 蹬车训练(0 W),随后开始正式测试,起始负荷为 5 W,每分钟递增 20 W,蹬车频率设置为 50~60 rpm。终止试验标准包括:①随运动强度增加,受试者摄氧量处于平台期;②呼吸交

换率>1.15;③心率(heart rate, HR) ≥ 180 b/min;④ Borg 主观疲劳感觉量表(rating of perceived exertion, RPE)评级(0~20 级) ≥ 18 级;⑤受试者力竭^[7]。如受试者符合以上任意 3 个指征即终止试验,此时受试者摄氧量即为 VO_{2max} ,心率则为最大心率(maximal heart rate, HR_{max})。

三、运动干预

3 组患者均保持日常生活习惯不变,包括饮食、药物干预以及日常锻炼等。HIIT 组及 MICT 组患者均在郑州市中心医院康复科完成 4 次/周、共 8 周运动干预,选用 MONARK 839E 型功率车测功仪,运动时间安排在周一、周二、周四及周五上午 6:30 到下午 6:30 期间。在正式运动前、后 2 组患者均分别进行 10 min 准备活动和 5 min 整理活动,运动强度为 70% HR_{max} 。HIIT 组运动方案如下:先以 90% HR_{max} 强度运动 4 min,间歇期以 70% HR_{max} 水平继续运动 3 min,重复练习 4 个循环,约持续 28 min;MICT 组则以 70% HR_{max} 水平持续运动 32 min;HIIT 组、MICT 组患者总运动时间分别为 40 min 和 47 min,且两种运动方式消耗热量相同。本研究采用 Polar S810 型遥测心率表(芬兰产)监测患者运动过程中 HR 水平,并将患者实时 HR 数据投影到墙面,同时根据患者实际 HR 与目标心率偏差情况以不同颜色编码,便于患者通过调整运动节奏(强度)使其 HR 处于靶心率范围内。

在整个干预过程中,密切监测患者足部健康状况,包括是否有新发水泡、溃疡或肿胀等。为降低运动性低血糖发生风险,在每次运动前、后均检测患者血糖水平,并根据相关指南^[8]建议向患者提供不同含量碳水化合物(如糖块或果汁等)进行补充。

四、身体特征指标检测

于训练前、训练 8 周后采用常规方法测量患者身高、体重及体重指数(body mass index, BMI);使用双能 X 线骨密度仪(美国 GE 公司产)测量患者脂肪含量、去脂体重及体脂百分比等。

五、血清生化指标检测

于训练前、训练 8 周后采用分光光度法检测患者糖化血红蛋白(hemoglobin A1c, HbA1c)和血糖浓度;采用免疫法测定胰岛素(insulin, Ins)含量;采用免疫比浊法测定血脂含量,包括总胆固醇(total cholesterol, TC)、甘油三酯(triglyceride, TG)、低密度脂蛋白胆固醇(low-density lipoprotein cholesterol, LDL-c)和高密度脂蛋白胆固醇(high-density lipoprotein cholesterol, HDL-c)水平。

六、日常体力活动及膳食摄入量评定

于训练前、训练 8 周后采用 ActiGraph GT3X 型三轴加速传感器(美国产)记录患者日常体力活动情况,

患者平均活动强度用有效佩戴时间内加速度计数除以有效佩戴时间表示(单位为 counts/min/d),活动量用行走步数表示(单位为 steps/d);训练前 1 周及训练最后 1 周采用 24 h 回顾法对非连续 3 d(其中有 1 天须为休息日)患者膳食摄入量进行调查。

七、统计学分析

采用 SPSS for Windows 20.0 版统计学软件包进行数据分析,计数资料比较采用 χ^2 检验,计量资料组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用单因素方差分析, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、3 组患者训练过程中耐受性及安全性分析

研究期间 HIIT 组、MICT 组分别有 5 例、7 例患者失访,其失访率组间差异无统计学意义($P>0.05$)。3 组患者一般资料情况详见表 1,表中数据经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义($P>0.05$),具有可比性。在 8 周康复干预过程中,HIIT 组和 MICT 组患者平均每周参加训练次数分别为(3.7±0.2)次和(3.5±0.2)次,训练计划完成率(反映患者运动依从性)分别为(91.8±5.0)%和(88.5±5.1)%,组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。HIIT 组和 MICT 组计划训练总次数分别为 960 次(8×4×30)和 896 次(8×4×28),观察期间 HIIT 组和 MICT 组分别缺席 78 次和 103 次,组间差异无统计学意义($P>0.05$)。多数患者(77/83,

92.8%)认为训练过程愉悦,仅 MICT 组有 3 例患者(3/83,3.6%)认为其运动方式较无聊。

3 组患者在训练期间均未发生需要紧急救治的严重不良事件(如心肌梗死等);HIIT 组有 1 例患者训练时出现 1 次呼吸急促情况,1 例服用胰岛素的患者在训练后出现 1 次头晕及低血压表现,但均未发生低血糖事件,这 2 例患者经短暂休息、补液后即恢复,并继续完成随后既定训练。

二、训练前、后 3 组患者有氧能力变化比较

入选时 3 组患者 VO_{2max}、GExT 持续时间组间差异均无统计学意义($P>0.05$);训练后 HIIT 组、MICT 组 VO_{2max}、GExT 持续时间均较入选时及 CON 组明显增加($P<0.05$),但 HIIT 组、MICT 组上述指标组间差异仍无统计学意义($P>0.05$);训练前、后 3 组患者安静 HR 及 HR_{max} 均无显著变化($P>0.05$),上述时间点组间差异亦无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 2。

三、训练前、后 3 组患者血糖控制及血脂变化比较

训练前 3 组患者 HbA1C、血糖、血清胰岛素水平及血脂(包括 TC、TG、LDL-c 和 HDL-c)含量组间差异均无统计学意义($P>0.05$);训练后 3 组患者上述各项指标均无明显变化($P>0.05$),组间差异也无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 3。

四、训练前、后 3 组患者身体成分变化比较

训练前、后 3 组患者身体成分各参数(包括体重、BMI、脂肪含量、去脂体重和体脂百分比)均无明显变化

表 1 入选时 3 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	糖尿病病程 (年, $\bar{x}\pm s$)	身高 (m, $\bar{x}\pm s$)	SBP (mmHg, $\bar{x}\pm s$)	DBP (mmHg, $\bar{x}\pm s$)
		男	女					
HIIT 组	30	11	19	61.5±6.5	8.2±1.0	1.70±0.76	125.8±11.0	71.1±4.9
MICT 组	28	10	18	61.5±5.8	7.6±1.0	1.72±0.08	127.4±10.8	73.4±5.6
CON 组	25	9	16	63.5±6.9	8.5±1.2	1.72±0.09	122.3±11.1	71.2±4.4

表 2 训练前、后 3 组患者有氧能力变化比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	VO _{2max} (ml/kg/min)		GExT 持续时间(min)		安静 HR(b/min)		HR _{max} (b/min)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	22.7±4.9	25.3±5.0 ^{ab}	11.7±1.8	13.5±2.0 ^{ab}	67±3	66±4	153±6	155±5
MICT 组	28	25.8±5.4	27.9±4.7 ^{ab}	11.5±1.5	13.2±1.9 ^{ab}	68±3	66±4	156±5	158±6
CON 组	25	23.4±4.1	22.0±4.7	10.9±2.3	10.2±2.5	70±4	70±3	153±6	154±5

注:与组内训练前比较,^a $P<0.05$;与 CON 组相同时间点比较,^b $P<0.05$

表 3 训练前、后 3 组患者血糖控制及血脂含量比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	HbA1C(%)		血糖(mg/dl)		血清胰岛素(μ U/ml)		TC(mmol/L)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	7.5±0.7	7.4±0.9	147±26	143±31	11.5±2.9	10.2±2.5	6.1±1.0	5.8±1.3
MICT 组	28	7.4±0.9	7.2±1.1	140±29	135±36	12.0±2.2	11.3±2.7	6.2±1.5	5.9±1.7
CON 组	25	7.1±1.0	7.2±1.2	145±31	147±30	11.7±3.0	12.2±3.5	5.9±1.3	6.0±1.1
组别	例数	TG(mmol/L)		LDL-c(mmol/L)		HDL-c(mmol/L)			
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	2.0±0.5	1.8±0.6	4.7±0.8	4.5±0.9	0.9±0.2	1.0±0.2		
MICT 组	28	1.9±0.4	1.8±0.5	4.6±0.7	4.4±0.8	0.9±0.1	1.1±0.3		
CON 组	25	1.8±0.5	1.9±0.6	4.6±0.6	4.7±1.0	1.0±0.2	0.9±0.3		

($P>0.05$),训练前及训练后 3 组患者身体成分各参数组间差异也无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 4。

五、训练前、后 3 组患者日常体力活动及膳食摄入量变化比较

训练前、后 3 组患者日常体力活动情况(包括平均活动强度和活动量)及膳食摄入量(包括能量、碳水化合物、脂肪及蛋白质等)均无明显变化($P>0.05$),训练前及训练后 3 组患者上述各项指标组间差异也无统计学意义($P>0.05$),具体数据见表 5、表 6。

讨 论

本研究结果证实,将非负重 HIIT 或 MICT 训练应用于中老年 2 型糖尿病患者运动康复是可行的;本研究 HIIT 组和 MICT 组共有 82.9% 的患者完成运动计划,该数据与针对健康中老年人的调查结果相当。本研究失访的 12 例患者其肥胖程度较显著,有氧能力较低,但失访原因与上述因素并无直接关联,其中 2 例因日程冲突、1 例因测功仪座椅不舒适、1 例因足底筋膜炎、3 例因既往医疗问题、3 例由于个人原因以及 2 例因不明原因失联退出。本研究完成 HIIT 或 MICT 训练的患者其 BMI 及 VO_{2max} 异质性较高(分别为 20.7~38.3 kg/m² 和 14.3~34.3 ml/kg/min),提示本研究采用的运动康复方案即使对于过度肥胖或有氧能力严重低下的糖尿病患者亦是可行的。

本研究 HIIT 组及 MICT 组患者失访率分别为 14.3% 和 20.0%,运动依从率(即实际完成训练次数除

以运动处方计划次数)分别为(91.8±5.0)% 和 (88.5±5.1)%,在整个运动训练过程中 2 组患者均无严重不良事件发生,亦未出现低血糖情况,提示 HIIT 和 MICT 训练均适用于中老年 2 型糖尿病患者,且训练过程中患者耐受性及安全性良好。

本研究 HIIT 组及 MICT 组患者经 8 周康复训练后,其 VO_{2max} 较训练前分别增加(2.6±0.7) ml/kg/min 和 (2.1±0.5) ml/kg/min。该变化具有重要临床意义,因为研究发现,受试者 VO_{2max} 每增加 3.5 ml/kg/min,其全因死亡率降低 15%,心血管疾病死亡率降低 19%^[9];此外还有文献报道,机体有氧能力提高,能显著改善 2 型糖尿病患者生活质量^[10]。关于运动训练改善机体 VO_{2max} 的机制目前尚未明确,可能与提高受试者心肺功能、血红蛋白携氧与运氧能力以及加速肌组织线粒体生物合成等方面有关^[11]。此外本研究 HIIT 组及 MICT 组患者经 8 周干预后,其 GE_{XT} 持续时间均明显增加,提示患者运动耐量得到显著改善;而 Lysterly 等^[12]证实,2 型糖尿病患者运动耐量与其全因及心血管疾病死亡率具有负相关性。上述结果均表明,HIIT 及 MICT 训练均可提高中老年 2 型糖尿病患者有氧能力及运动耐量,有助于改善患者生活质量,降低死亡率。

近期一项研究报道,20~70 岁 2 型糖尿病患者经 12 周不同方式跑台运动后,发现 HIIT 组患者有氧能力较入选时提升 20%,而 MICT 组患者有氧能力则无显著改变^[13]。与上述报道不同,本研究结果表明,对于不能或不愿意进行 HIIT 训练的中老年 2 型糖尿病

表 4 训练前、后 3 组患者身体成分各参数变化比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	体重(kg)		BMI(kg/m ²)	
		训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	87.2±9.1	86.0±5.8	30.3±4.4	29.9±3.5
MICT 组	28	84.3±6.0	84.6±4.1	28.7±3.7	28.8±3.3
CON 组	25	86.8±8.6	87.2±7.7	29.3±3.6	29.5±3.6

组别	例数	脂肪重量(kg)		去脂体重(kg)		体脂百分比(%)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	27.0±3.2	26.2±2.7	60.2±8.6	59.8±6.2	31.2±3.9	30.6±3.7
MICT 组	28	26.0±2.7	25.5±2.5	58.3±6.3	59.1±5.2	31.0±3.8	30.2±3.4
CON 组	25	26.1±3.1	27.5±2.8	60.7±8.9	59.8±7.7	30.3±4.9	31.7±4.0

表 5 训练前、后 3 组患者日常体力活动变化比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	平均活动强度(counts/min/d)		活动量(steps/d)	
		训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	321±38	335±41	5122±639	5118±698
MICT 组	28	368±44	352±35	5327±701	5287±769
CON 组	25	355±40	370±33	5375±811	5512±970

表 6 训练前、后 3 组患者膳食摄入量变化比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	能量(kcal)		碳水化合物(g)		脂肪(g)		蛋白质(g)	
		训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后	训练前	训练后
HIIT 组	30	1829±276	1933±298	212±37	228±39	75±9	80±11	82±9	88±12
MICT 组	28	1886±253	1898±305	210±28	223±31	82±12	79±10	83±10	79±14
CON 组	25	1875±269	1837±320	226±35	208±43	78±8	75±9	78±11	80±9

患者,采用功率车进行 MICT 训练是有效的替代方案。上述研究结果存在差异的原因可能与运动方案(包括运动方式、运动强度、持续时间、运动频率等)不同有关。尽管有多项研究指出 HIIT 训练在改善机体有氧能力方面优于 MICT 训练^[4-5],但仍有部分研究(包括本研究)显示这两种运动方式的改善作用并无显著差异^[14]。本研究在训练期间对所有患者的运动强度(靶心率)进行严密监控并保证各组运动量(能量消耗)相同,发现 HIIT、MICT 运动对患者有氧能力的改善作用相似,可能与入选患者体能水平较低且平常缺乏体力活动有关;因为在运动初期阶段,HIIT 和 MICT 训练均可显著提升患者体力活动水平,从而产生相似的康复效应,而 HIIT 干预的优越性可能需持续训练超过 8 周后才能显现。

本研究各组患者训练前、后其体重、BMI、脂肪含量、去脂体重以及体脂百分比等指标均无显著变化。相关 Meta 分析亦指出,2 型糖尿病患者其身体成分水平不受运动训练影响^[15]。本研究患者在训练过程中均保持日常饮食习惯不变,通过调查其饮食情况发现,训练前、后 3 组患者膳食摄入量均无显著变化($P>0.05$)。据此推测,若延长运动训练时间(>8 周)和/或改变饮食结构有可能对患者体重及身体成分产生显著影响,但该假设还需进一步试验证实。

本研究观察期间各组患者均未停药或更换药物种类与剂量,同时采用随机对照设计以确保各组患者基线特征一致,因此用药因素对各观察指标结果的影响作用较小。本研究各组患者训练前、后其长期血糖控制指标 HbA1c 水平均无显著变化,可能与运动干预时间偏短有关。本研究各组患者训练前、后其血脂水平亦无明显差异,主要原因可能与大部分(72.3%)患者正在服用他汀类药物有关。如最近一项 Meta 分析指出,与仅使用他汀类药物对照组比较,有氧运动不会产生额外的降脂效果^[16]。

综上所述,本研究结果表明,非负重 HIIT 和 MICT 运动均适用于中老年 2 型糖尿病患者,且训练过程中患者耐受性及安全性良好,为期 8 周的 HIIT 或 MICT 训练对中老年 2 型糖尿病患者有氧能力及最大运动耐力具有相似的改善效应,有助于提高患者生活质量,降低其全因死亡率或心血管疾病死亡率。

参 考 文 献

- [1] 国家老年医学中心,中华医学会老年医学分会,中国老年保健协会糖尿病专业委员会.中国老年糖尿病诊疗指南(2021 年版)[J].中华糖尿病杂志,2021,13(1):14-46. DOI: 10.3760/cma.j.cn115791-20201209-00707.
- [2] Nath T, Ahima RS, Santhanam P. Body fat predicts exercise capacity in persons with Type 2 Diabetes Mellitus: a machine learning approach [J]. PLoS One, 2021, 16(3): e0248039. DOI: 10.1371/journal.pone.

0248039.

- [3] Stefani L, Galanti G. Physical exercise prescription in metabolic chronic disease [J]. Adv Exp Med Biol, 2017, 1005: 123-141. DOI: 10.1007/978-981-10-5717-5_6.
- [4] Weege M, van den Berg R, Ward RE, et al. The effects of high-intensity interval training vs moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis [J]. Obes Rev, 2017, 18(6): 635-646. DOI: 10.1111/obr.12532.
- [5] Dun Y, Smith JR, Liu S, et al. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation [J]. Clin Geriatr Med, 2019, 35(4): 469-487. DOI: 10.1016/j.cger.2019.07.011.
- [6] Hwang CL, Yoo JK, Kim HK, et al. Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults [J]. Exp Gerontol, 2016, 82(10): 112-119. DOI: 10.1016/j.exger.2016.06.009.
- [7] 郭辉,孙景权,张一民.心肺运动试验与 6 min 上下楼梯试验评价心肺功能的比较 [J].中国组织工程研究, 2016, 20(2): 292-296. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.2016.02.024.
- [8] Colberg SR, Sigal RJ, Yardley JE, et al. Physical activity/exercise and diabetes: a position statement of the American Diabetes Association [J]. Diabetes Care, 2016, 39(11): 2065-2079. DOI: 10.2337/dc16-1728.
- [9] Lee DC, Sui X, Artero EG, et al. Long-term effects of changes in cardiorespiratory fitness and body mass index on all-cause and cardiovascular disease mortality in men: the Aerobics Center Longitudinal Study [J]. Circulation, 2011, 124(23): 2483-2490. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.111.038422.
- [10] Awotidebe TO, Adedoyin RA, Oke KI, et al. Relationship between functional capacity and health-related quality of life of patients with type-2 diabetes [J]. Diabetes Metab Syndr, 2017, 11(1): 1-5. DOI: 10.1016/j.dsx.2016.06.004.
- [11] Vega RB, Konhilas JP, Kelly DP, et al. Molecular mechanisms underlying cardiac adaptation to exercise [J]. Cell Metab, 2017, 25(5): 1012-1026. DOI: 10.1016/j.cmet.2017.04.025.
- [12] Lyster GW, Sui X, Church TS, et al. Maximal exercise electrocardiography responses and coronary heart disease mortality among men with diabetes mellitus [J]. Circulation, 2008, 117(21): 2734-2742. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.729277.
- [13] Stoa EM, Meling S, Nyhus LK, et al. High-intensity aerobic interval training improves aerobic fitness and HbA1c among persons diagnosed with type 2 diabetes [J]. Eur J Appl Physiol, 2017, 117(3): 455-467. DOI: 10.1007/s00421-017-3540-1.
- [14] Hu M, Kong Z, Sun S, et al. Interval training causes the same exercise enjoyment as moderate-intensity training to improve cardiorespiratory fitness and body composition in young Chinese women with elevated BMI [J]. J Sports Sci, 2021, 26(2): 1-10. DOI: 10.1080/02640414.2021.1892946.
- [15] Grace A, Chan E, Giallauria F, et al. Clinical outcomes and glycaemic responses to different aerobic exercise training intensities in type II diabetes: a systematic review and meta-analysis [J]. Cardiovasc Diabetol, 2017, 16(1): 37-47. DOI: 10.1186/s12933-017-0518-6.
- [16] Gui YJ, Liao CX, Liu Q, et al. Efficacy and safety of statins and exercise combination therapy compared to statin monotherapy in patients with dyslipidaemia: a systematic review and meta-analysis [J]. Eur J Prev Cardiol, 2017, 24(9): 907-916. DOI: 10.1177/2047487317691874.

(修回日期:2020-12-18)

(本文编辑:易 浩)