

· 临床研究 ·

有氧联合抗阻运动对阻塞性睡眠呼吸暂停综合征患者心率及运动能力的影响

赵醇¹ 戴玲丽¹ 冯慧² 王磊^{1,2}¹南京中医药大学针灸推拿学院养生康复学院康复教研室,南京 210046; ²南京江宁医院康复医学科,南京 211100

通信作者:王磊,Email:pitx3@163.com

【摘要】 目的 探讨个体化有氧联合抗阻运动对中年中重度阻塞性睡眠呼吸暂停综合征(OSAS)患者心率恢复及运动能力的影响。**方法** 将40例经多导睡眠监测诊断为患有中重度OSAS的中年患者,按随机数字表法分为观察组和对照组,每组20例。对照组给予常规健康指导及行为能力的培养,观察组在此基础上给予强度为60%~75%峰值功率的有氧训练以及60%~80%最大重复10次所使用重量(10RM)的抗阻训练,有氧运动每次运动时间为30 min,每个项目间或同一项目中可休息5 min,抗阻运动每个训练动作重复8~10次,共3组,每组间可休息5 min;每次联合运动60 min,每周训练3次,共12周。分别于入组时(训练前)及训练12周结束后(训练后),对2组患者进行多导睡眠监测(PSG)及心肺运动试验(CPET),采集患者的睡眠呼吸暂停低通气指数(AHI)、氧减指数(ODI)、最低血氧饱和度(L-SaO₂)等PSG评估指标,并记录患者的峰值摄氧量(VO_{2peak})、峰值功率、无氧阈等运动能力指标以及患者CPET终止后第1、2、3分钟坐位心率恢复数(HRR),记为HRR-1、HRR-2、HRR-3。**结果** 训练前2组患者的各项观测指标组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。①训练后,观察组患者的AHI[(21.19±5.43)次/h]、ODI[(24.36±5.92)次/h]和L-SaO₂值[(83.65±5.24)%]与组内训练前[(27.55±6.12)次/h、(30.51±6.75)次/h和(79.26±6.43)%]及对照组训练后[(28.25±6.74)次/h和(29.81±6.53)次/h和(79.03±6.44)%]比较,均有明显改善($P<0.05$)。②训练后,观察组患者的VO_{2peak}[(18.92±3.63) ml/(kg·min)]、峰值功率[(94.18±16.26) W]和无氧阈[(13.10±3.35) ml/(kg·min)]与组内训练前[(15.62±3.87) ml/(kg·min)]、[(83.37±13.61) W]和[(10.23±2.15) ml/(kg·min)]及对照组训练后[(15.34±3.45) ml/(kg·min)]、[(80.14±14.57) W]和[(10.02±3.18)]比较,均有明显提升($P<0.05$)。③训练后患者的心率恢复方面,观察组的HRR-1、HRR-2和HRR-3均高于组内训练前及对照组训练后,且差异均有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 有氧联合抗阻运动能明显提高中年中重度OSAS患者的运动能力,并改善其心率恢复。

【关键词】 有氧运动; 抗阻运动; 阻塞性睡眠呼吸暂停综合征; 心率恢复; 运动能力

基金项目:国家自然科学基金(81772444)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.013

The effects of combining aerobic training with resistance training on the heart rate and exercise capacity of persons with obstructive sleep apnea

Zhao Chun¹, Dai Lingli¹, Feng Hui², Wang Lei^{1,2}¹Rehabilitation Teaching and Research Section, College of Acupuncture and Massage, College of Health And Rehabilitation, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210046, China; ²Department of Rehabilitation Medicine, Nanjing Jiangning Hospital, Nanjing 211100, China

Corresponding author: Wang Lei, Email: pitx3@163.com

【Abstract】 Objective To explore the effect of individualized aerobic training combined with resistance training on heart rate recovery and exercise capacity among patients with obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) and explore possible mechanisms. **Methods** Forty middle-aged patients with moderate to severe OSAS were randomly assigned to an observation group (OG, $n=20$) or a control group (CG, $n=20$). Both groups were given routine health guidance and motor training, while the OG additionally underwent individualized aerobic exercise training at 60%~75% of their peak power and resistance training loaded at 60%~80% of their ten-times maximum repetition figure. The training was three times a week for 3 months. Both groups underwent cardiopulmonary exercise testing and polysomnography before and after the 12-week intervention. The changes in their sleep apnea hypopnea index (AHI), oxygen desaturation index (ODI) and lowest oxygen saturation (L-SaO₂) were collected. Exercise capacity indicators

such as peak oxygen uptake (VO_{2peak}), peak power, anaerobic threshold and sitting heart rate recovery (HRR) 1, 2 and 3 minutes after the test were recorded (denoted as HRR-1, HRR-2 and HRR-3). **Results** There were no significant differences between the two groups in any of the measurements before the intervention. Afterward the average AHI, ODI and L-SAO₂ values of the observation group had all improved significantly compared with those before the training and compared with the control group's values after the training. After the training, the VO_{2peak} and peak power of the observation group had also improved significantly compared with before the training and compared with the control group. HRR-1, HRR-2 and HRR-3 were all significantly higher in the observation group than before the training and higher than the control group's values after the training. **Conclusion** Combining aerobic and resistance training can improve the exercise ability and heart rate of middle-aged patients with moderate to severe OSAS, and also reduce the severity of their OSAS to some extent.

【Key words】 Aerobic exercise; Resistance training; Obstructive sleep apnea syndrome; Heart rate recovery; Exercise ability

Funding: National Natural Science Foundation of China (81772444)
DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.08.013

阻塞性睡眠呼吸暂停综合征 (obstructive sleep apnea syndrome, OSAS) 是一种由上呼吸道阻塞引起的疾病, 表现为睡眠期间反复发作气流中断 (呼吸暂停) 或减少 (呼吸不足), 临床症状为白天嗜睡、头痛头晕、疲倦乏力, 夜间打鼾、多动不安、夜尿增多, 甚至憋醒等^[1], 是房颤、脑卒中、心衰等多种心脑血管疾病潜在的危险因素^[2]。心率恢复是预测心血管事件发生和死亡的一个可靠而有效的参数^[3-4], 心率恢复降低被认为与心血管事件和全因病死率增加有关^[3]。目前研究表明, 相较于健康人, OSAS 患者的运动能力及心率恢复受到不同程度的损害^[5-8], 而经鼻气道持续正压通气等疗法可以有效提升 OSAS 患者心率恢复^[9]及运动能力^[10], 但是由于 OSAS 患者对其耐受性与依从性较差, 导致治疗效果大幅度降低。研究表明, 运动疗法可以改善 OSAS 患者白天生活质量、夜间睡眠质量^[11]以及抑郁症状^[12]等。但目前关于运动疗法对 OSAS 患者心率恢复及其运动能力影响的研究较少。本研究通过评估 OSAS 患者运动能力及心率恢复等相关指标, 探讨个体化有氧联合抗阻运动对 OSAS 患者运动能力及心率恢复的影响, 并分析其潜在机制, 旨在为该类患者的临床诊疗提供新的思路与方法。

资料与方法

一、一般资料及分组

纳入标准: ①依据《成人 OSAS 的诊断和治疗》^[1]中的 OSAS 诊断标准, 符合中重度 OSAS 诊断且未经过

药物或手术等相关治疗; ②年龄 45~55 岁; ③患者无规律的锻炼与运动习惯; ④所有受试者具有良好的依从性, 并签署知情同意书。

排除标准: ①已知或怀疑有严重的心肺、代谢系统疾病; ②有未能被控制的高血压 (>155/99 mmHg) 和心律失常; ③患有骨骼、肌肉、神经系统等疾病, 不能完成运动评估及治疗者; ④长期服用催眠药、镇静药等药品; ⑤患有全身严重器质性疾病及电解质紊乱者。

对 2017 年 10 月至 2018 年 10 月南京江宁医院门诊就诊的疑似 OSAS 且符合上述标准的患者进行多导睡眠监测 (polysomnography, PSG), 选取中重度 OSAS 患者 40 例, 按随机数字表法分为观察组和对照组, 每组 20 例。2 组的性别、平均年龄、静息心率、身体质量指数 (body mass index, BMI) 等一般临床资料经统计学分析比较, 差异无统计学意义 ($P>0.05$), 具有可比性, 详见表 1。本研究获南京江宁医院医学伦理委员会批准 (伦理批号 2014-45)。

二、治疗方法

2 组患者均接受戒烟、健康饮食、规律时间睡眠等常规健康指导及行为能力的培养, 观察组在此基础上给予个体化的有氧联合抗阻训练, 具体的运动方案如下。

1. 运动方式: 患者结合自身情况, 可选择跑步机、坐位踏车、功率自行车等中的一项或几项进行有氧运动。抗阻运动选择髋关节、膝关节等运动肌群作为目标肌群, 运用弹力带进行髋、膝关节屈、伸等训练。

表 1 2 组患者的一般临床资料

组别	例数	性别 (例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	静息心率 (次/分, $\bar{x}\pm s$)	BMI (kg/m^2 , $\bar{x}\pm s$)
		男	女			
观察组	20	13	7	49.61 $\pm$ 4.35	79.21 $\pm$ 5.96	28.87 $\pm$ 3.90
对照组	20	15	5	48.93 $\pm$ 3.62	78.36 $\pm$ 4.63	29.56 $\pm$ 4.25

2.运动强度:依据心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test,CPET)评估的结果,以60%~75%峰值功率作为有氧训练的目标强度,60%峰值功率作为初始训练的强度。每隔2周根据患者心率水平及个人主观感受,每次进行5%的强度调整。以弹力带测定60%~80%最大重复10次所使用的重量(10RM)为抗阻训练的目标强度,每2周需再次测定患者各动作的10RM,以确定新的训练强度。

3.运动时间与频率:有氧运动每次运动时间为30 min,每个项目间或同一项目中可休息5 min;抗阻运动每个训练动作重复8~10次,共3组,每组间可休息5 min。每次联合运动60 min,每周训练3次,共12周。

4.运动监护:运动过程中需对患者进行心率、血压监控,训练前需进行5 min热身准备活动;密切关注患者生命体征,若运动过程中出现呼吸困难、胸痛、乏力、等不适症状则立即降低运动强度或停止运动。

三、评定及观测指标

1.PSG 评定:入组时(训练前)及训练12周结束后(训练后),选择多导睡眠呼吸监测仪(ALICE4型,美国)对所有受试者进行连续不少于7 h的睡眠监测。所有患者测试当日,嘱其避免午睡,禁饮酒、咖啡、茶等兴奋性饮品,禁止服用影响睡眠的镇静类药物。保持房间安静、舒适、避光,根据患者平日作息规律,使其提前进入监测室以适应环境。嘱患者监测当日保持心情愉悦,衣着舒适宽松,尽可能早睡,减少睡前饮水量。

监测项目包括脑电图、眼电图、肌电图、心电图、打鼾情况,以及口鼻气流、胸腹动度、血氧饱和度等。由专业医技人员审核、校正各项参数数据,采集的数据主要包括睡眠呼吸暂停低通气指数(apnea hypopnea index,AHI)、氧减指数(oxygen desaturation index,ODI)、最低血氧饱和度(lowest oxygen saturation,L-SaO₂)等指标。

2.运动能力评估:入组时(训练前)及训练12周结束后(训练后),对所有受试者进行症状限制性运动试验。选用心肺运动测试系统(K4B2型,科时迈公司生产),于早上9点开始测试,患者先坐于功率车上,保持静息状态1 min以上,测定患者静息心率、静息血压等数据;然后在不加载功率的情况下空载踏车,进行3 min的热身准备运动;随后开始以5~10 W/min的负荷幅度逐渐增加,保持55~65 转速/min的转速直至力竭。记录2组患者的峰值摄氧量(peak oxygen uptake,VO_{2peak})、峰值功率及无氧阈。

测试过程中,密切关注患者的心率、ST段、血压等参数,若出现下列情况,则应降低运动强度或终止运动。①患者呼吸窘迫、胸痛、眩晕、面色苍白等不适症状;②严重的高血压220/140 mmHg(1 mmHg=

0.133 kPa);③出现明显心律失常;④心电图表现出ST段抬高≥1 mm或ST段压低≥2 mm;⑤患者要求停止运动。

3.心率恢复评估:心率恢复数(heart rate recovery,HRR)定义为CPET中达到的峰值心率与CPET终止后某时即刻心率的差值,记录患者CPET终止后第1、2、3分钟坐位心率恢复数,记为HRR-1、HRR-2、HRR-3。

四、统计学方法

使用SPSS 19.0版统计软件对所得数据进行统计学分析处理,计数资料采用 χ^2 检验;计量资料服从正态分布,用($\bar{x}\pm s$)描述,组内比较采用配对t检验,组间对比采用独立样本t检验。 $P<0.05$ 认为差异有显著性意义。

结 果

所有受试者在训练过程中未出现胸痛、晕厥等危险症状,均坚持完成所有训练。训练前,2组患者各项观测指标组间差异均无统计学意义($P>0.05$)。训练后,观察组患者AHI和ODI较组内训练前及对照组训练后均有明显改善($P<0.01$),夜间L-SaO₂亦有所改善($P<0.05$),详见表2。

表 2 2 组患者训练前后的 PSG 相关指数比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	AHI(次/h)	ODI(次/h)	L-SaO ₂ (%)
观察组				
训练前	20	27.55±6.12	30.51±6.75	79.26±6.43
训练后	20	21.19±5.43 ^{ab}	24.36±5.92 ^{ab}	83.65±5.24 ^{cd}
对照组				
训练前	20	26.90±6.48	29.34±6.08	80.74±7.57
训练后	20	28.25±6.74	29.81±6.53	79.03±6.44

注:与组内训练前比较,^a $P<0.01$,^c $P<0.05$;与对照组训练后比较,^b $P<0.01$,^d $P<0.05$

训练后,观察组VO_{2peak}及无氧阈等运动能力指标与组内训练前及对照组训练后比较,均有明显提升($P<0.01$),峰值功率亦较组内训练前及对照组训练后有所提升($P<0.05$),详见表3。

表 3 2 组患者训练前后的运动能力相关指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	VO _{2peak} [ml/(kg·min)]	峰值功率 (W)	无氧阈 [ml/(kg·min)]
观察组				
训练前	20	15.62±3.87	83.37±13.61	10.23±2.15
训练后	20	18.92±3.63 ^{ab}	94.18±16.26 ^{bc}	13.10±3.35 ^{ab}
对照组				
训练前	20	16.28±3.37	82.52±15.23	10.41±2.55
训练后	20	15.34±3.45	80.14±14.57	10.02±3.18

注:与组内训练前比较,^a $P<0.01$,^c $P<0.05$;与对照组训练后比较,^b $P<0.01$

训练后心率恢复方面,观察组患者CPET终止后

的 HRR-1、HRR-2 和 HRR-3 均高于组内训练前及对照组训练后,且差异均有统计学意义($P<0.05$),详见表 4。

表 4 2 组患者训练前后的心率恢复情况比较(次/分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	HRR-1	HRR-2	HRR-3
观察组				
训练前	20	17.62±4.75	28.07±5.40	38.51±4.92
训练后	20	19.25±5.38 ^{ab}	32.50±5.65 ^{ab}	41.54±4.18 ^{ab}
对照组				
训练前	20	17.69±5.51	29.33±4.70	38.92±5.84
训练后	20	16.95±4.53	28.62±4.34	39.34±5.09

注:与组内训练前比较,^a $P<0.05$;与对照组训练后比较,^b $P<0.05$

讨 论

VO_{2max} 等是反映心血管适应性的最佳指标^[13]。研究表明,OSAS 患者的运动能力通常较健康人差,表现为 VO_{2peak} 、无氧阈等指标均偏低^[6-7]。本研究结果显示,观察组经 12 周个体化的有氧联合抗阻训练后,患者的峰值功率、 VO_{2peak} 和无氧阈较训练前分别提高了 13%、21%、28%,说明个体化的联合运动一定程度改善了 OSAS 患者的运动能力。其可能原因:①联合运动增强了心脏自主神经功能,提升了冠脉血管的调节能力,患者心输出量增多,心血管系统对运动的适应能力增强,表现出运动能力的提高;②联合运动降低了 OSAS 患者机体氧化应激损伤,改善了全身各系统的炎症反应^[14];③运动训练改变了大多数肥胖的 OSAS 患者长期久坐、运动量少的生活方式,增强了 OSAS 患者的有氧代谢能力。本研究结果与 Yang 等的研究结果类似^[13, 15-16]。

Sengul 等^[17]对 OSAS 患者的研究并未发现运动训练能改善其运动能力的证据,这可能是由于其样本含量过小或者是运动处方差异较大等造成的;但该研究中 OSAS 患者经运动训练后的病情程度均得到不同程度的改善,表现为 AHI 指数降低,这与本研究结果类似。本研究中,观察组经 12 周联合运动训练后,患者的 AHI 和 ODI 指标分别下降了 23%和 20%, $L-SaO_2$ 提升了 5%,虽然改善的幅度较小,但提示 OSAS 患者心率恢复、运动能力及病情严重程度改善是一致的,这一相关性还有待以后的研究深入探讨。可见,运动疗法作为 OSAS 患者的辅助疗法对于降低其心血管事件的发生率具有一定的现实意义^[11, 18],前提是患者需在医师的指导下选择合理的运动处方并长久坚持之才能达到理想的效果。

OSAS 患者睡眠中有间歇性缺氧和反复觉醒现象发生,其自主神经功能存在障碍,而心脏自主神经功能障碍与心血管疾病的发生及患者死亡风险的增加有

关^[19]。心率恢复异常定义为运动强度下降或运动停止后某时即刻心率下降的不足,反映出副交感神经系统活性的降低^[20]。目前,许多研究表明,心率恢复异常与心力衰竭^[21]、糖尿病^[22]、冠心病^[4]等疾病的发生、发展和死亡密切相关。Maeder 等^[23]研究发现,中年 OSAS 患者中,较高静息心率、较高总胆固醇与 HRR-1、HRR-2 均独立相关,较高胰岛素抵抗与较低 HRR-1 独立相关,而较低肾小球滤过率、较低峰值心率与 HRR-2 独立相关。因此,心率恢复在 OSAS 患者心功能的预测、疾病预防、预后判断等方面有着重要的应用价值。

本研究结果显示,观察组患者经 12 周有氧联合抗阻训练后,患者的 HRR-1、HRR-2 和 HRR-3 均高于训练前($P<0.05$),而对照组则无明显变化($P>0.05$),说明有氧联合抗阻运动能明显改善 OSAS 患者的心率恢复。Yang 等^[13]研究亦发现,12 周有氧运动训练可使 OSAS 患者的 HRR-1 显著改善,这与本研究结果相似。Arena 等^[20]通过药物研究发现,阿托品能阻断运动结束后心率的迅速下降,而运动强度或交感神经阻断剂则不会对其产生影响,说明短时间的心率恢复可作为副交感神经输出的标志,因此,心脏副交感神经的再激活可被认为是运动停止或强度下降时心率立即下降的主要决定因素。李艳芳等^[24]的临床研究也表明有氧运动能促进冠心病患者心率恢复,其原因可能是有氧运动改善了患者的自主神经调节功能。本研究中,OSAS 患者心率恢复的提升可能是因为有氧联合抗阻运动改善了 OSAS 患者自主神经紊乱的病理状态,增强了副交感神经的活性,使其与交感神经相对平衡,增强了交感神经与副交感神经对于心率的调节的能力。

综上所述,有氧联合抗阻运动能提高中重度 OSAS 患者的运动能力和改善患者的心率恢复。本研究的不足之处在于不同的强度、运动类型及年龄对 OSAS 患者心率恢复的影响还未明确;本研究病例数较少,且未按 OSAS 患者的病情程度进行分类比较,关于 OSAS 患者心率恢复、运动能力及其与病情严重程度相关性的问题还有待深入探讨。因此,今后的研究中可进一步收集相关 OSAS 患者病例,分组进行不同强度的有氧联合抗阻训练,寻找最佳运动强度以制订更加合理的运动方案和对运动改善 OSAS 的作用机制进行深入研究。

参 考 文 献

- [1] Laratta CR, Ayas NT, Povitz M, et al. Diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea in adults [J]. CMAJ, 2017, 189(48): E1481-E1488. DOI: 10.1503/cmaj.170296.

- [2] Ayas NT, Taylor CM, Laher I. Cardiovascular consequences of obstructive sleep apnea[J]. *Curr Opin Cardiol*, 2016, 31(6):599-605. DOI:10.1097/HCO.0000000000000329.
- [3] Qiu S, Cai X, Sun Z, et al. Heart rate recovery and risk of cardiovascular events and all-cause mortality: a meta-analysis of prospective cohort studies[J]. *J Am Heart Assoc*, 2017, 6(5):e005505. DOI:10.1161/JAHA.117.005505.
- [4] Lachman S, Terbraak MS, Limpens J, et al. The prognostic value of heart rate recovery in patients with coronary artery disease: a systematic review and meta-analysis[J]. *Am Heart J*, 2018, 199:163-169. DOI:10.1016/j.ahj.2018.02.008.
- [5] Hargens TA, Guill SG, Zedalis D, et al. Attenuated heart rate recovery following exercise testing in overweight young men with untreated obstructive sleep apnea[J]. *Sleep*, 2008, 31(1):104-110. DOI:10.1093/sleep/31.1.104.
- [6] Beitler JR, Awad KM, Bakker JP, et al. Obstructive sleep apnea is associated with impaired exercise capacity: a cross-sectional study[J]. *J Clin Sleep Med*, 2014, 10(11):1199-1204. DOI:10.5664/jcsm.4200.
- [7] Mendelson M, Marillier M, Bailly S, et al. Maximal exercise capacity in patients with obstructive sleep apnoea syndrome: a systematic review and meta-analysis[J]. *Eur Respir J*, 2018, 51(6):1702697. DOI:10.1183/13993003.02697-2017.
- [8] Cholidou KG, Manali ED, Kapsimalis F, et al. Heart rate recovery post 6-minute walking test in obstructive sleep apnea: cycle ergometry versus 6-minute walking test in OSA patients[J]. *Clin Res Cardiol*, 2014, 103(10):805-815. DOI:10.1007/s00392-014-0721-3.
- [9] Maeder MT, Ammann P, Munzer T, et al. Continuous positive airway pressure improves exercise capacity and heart rate recovery in obstructive sleep apnea[J]. *Int J Cardiol*, 2009, 132(1):75-83. DOI:10.1016/j.ijcard.2007.10.040.
- [10] Quadri F, Boni E, Pini L, et al. Exercise tolerance in obstructive sleep apnea-hypopnea (OSAH), before and after CPAP treatment: effects of autonomic dysfunction improvement[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2017, 236:51-56. DOI:10.1016/j.resp.2016.11.004.
- [11] Ifitikhar IH, Kline CE, Youngstedt SD. Effects of exercise training on sleep apnea: a meta-analysis[J]. *Lung*, 2014, 192(1):175-184. DOI:10.1007/s00408-013-9511-3.
- [12] Simpson L, McArdle N, Eastwood PR, et al. Physical inactivity is associated with moderate-severe obstructive sleep apnea[J]. *J Clin Sleep Med*, 2015, 11(10):1091-1099. DOI:10.5664/jcsm.5078.
- [13] Yang H, Liu Y, Zheng H, et al. Effects of 12 weeks of regular aerobic exercises on autonomic nervous system in obstructive sleep apnea syndrome patients[J]. *Sleep Breath*, 2018, 22(4):1189-1195. DOI:10.1007/s11325-018-1736-1.
- [14] Fedewa MV, Hathaway ED, Ward-Ritacco CL. Effect of exercise training on C reactive protein: a systematic review and meta-analysis of randomised and non-randomised controlled trials[J]. *Br J Sports Med*, 2017, 51(8):670-676. DOI:10.1136/bjsports-2016-095999.
- [15] Ueno LM, Drager LF, Rodrigues AC, et al. Effects of exercise training in patients with chronic heart failure and sleep apnea[J]. *Sleep*, 2009, 32(5):637-647. DOI:10.1093/sleep/32.5.637.
- [16] Kline CE, Crowley EP, Ewing GB, et al. Blunted heart rate recovery is improved following exercise training in overweight adults with obstructive sleep apnea[J]. *Int J Cardiol*, 2013, 167(4):1610-1615. DOI:10.1016/j.ijcard.2012.04.108.
- [17] Sengul YS, Ozalevli S, Oztura I, et al. The effect of exercise on obstructive sleep apnea: a randomized and controlled trial[J]. *Sleep Breath*, 2011, 15(1):49-56. DOI:10.1007/s11325-009-0311-1.
- [18] Ifitikhar IH, Bittencourt L, Youngstedt SD, et al. Comparative efficacy of CPAP, MADs, exercise-training, and dietary weight loss for sleep apnea: a network meta-analysis[J]. *Sleep Med*, 2017, 30:7-14. DOI:10.1016/j.sleep.2016.06.001.
- [19] Peçanha T, Silva-Júnior ND, de Moraes Forjaz CL. Heart rate recovery: autonomic determinants, methods of assessment and association with mortality and cardiovascular diseases[J]. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2014, 34(5):327-339. DOI:10.1111/cpf.12102.
- [20] Arena R, Guazzi M, Myers J, et al. Prognostic value of heart rate recovery in patients with heart failure[J]. *Am Heart J*, 2006, 151(4):851.e7-13. DOI:10.1016/j.ahj.2005.09.012.
- [21] Yilmaz A, Erdem A, Kucukdurmaz Z, et al. Abnormal heart rate recovery in stable heart failure patients[J]. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2013, 36(5):591-595. DOI:10.1111/pace.12088.
- [22] Qiu SH, Xue C, Sun ZL, et al. Attenuated heart rate recovery predicts risk of incident diabetes: insights from a meta-analysis[J]. *Diabet Med*, 2017, 34(12):1676-1683. DOI:10.1111/dme.13517.
- [23] Maeder MT, Ammann P, Schoch OD, et al. Determinants of postexercise heart rate recovery in patients with the obstructive sleep apnea syndrome[J]. *Chest*, 2010, 137(2):310-317. DOI:10.1378/chest.09-1424.
- [24] 李艳芳, 牛青英, 王俊莉. 个体化有氧运动对高龄冠心病患者心功能、心率恢复及生活质量的影响[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2016, 38(1):39-42. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2016.01.008.

(修回日期:2021-07-02)

(本文编辑:汪 玲)