

## · 心脏康复 ·

## 心脏康复运动训练在临床的应用进展



扫描二维码  
查看原文

祁祥<sup>1</sup>, 卢健棋<sup>2</sup>, 温志浩<sup>2</sup>, 朱智德<sup>1</sup>, 蒋志雄<sup>1</sup>, 何晓玲<sup>1</sup>

**【摘要】** 心血管疾病(CVD)作为世界重大公共卫生问题,其在非传染性疾病中的病死率一直居于全球首位。随着社会经济的发展,我国CVD发病人数持续增加,因此对CVD患者进行心脏康复(CR)尤为重要。运动训练是CR的核心部分,其可减少心血管事件的发生、改善患者心肺适能、促进心理健康、改善CVD患者预后,从而使患者获益。现阶段CR运动训练主要由有氧运动、抗阻训练、柔韧性训练、平衡能力训练、呼吸功能训练五个模块构成。制定好应急处理预案,推动中国传统功法在CR中的应用,提高我国CR领域人才、经费、科研投入,形成完备的康复医疗体系,将现代科技与CR运动训练相结合以协同促进CR的发展仍是当前工作的重点。本文系统梳理了CR运动训练的临床应用进展,并对现存的若干问题进行思考与展望,以期临床工作者指导患者进行运动训练提供参考。

**【关键词】** 心血管疾病;心脏康复;运动处方;临床综述

**【中图分类号】** R 54 **【文献标识码】** A DOI: 10.12114/j.issn.1008-5971.2022.00.221

祁祥, 卢健棋, 温志浩, 等.心脏康复运动训练在临床的应用进展[J].实用心脑血管病杂志, 2022, 30(9): 17-22. [www.syxnf.net]

QI X, LU J Q, WEN Z H, et al. Advances in clinical application of cardiac rehabilitation exercise training [J]. Practical Journal of Cardiac Cerebral Pneumal and Vascular Disease, 2022, 30(9): 17-22.

**Advances in Clinical Application of Cardiac Rehabilitation Exercise Training** QI Xiang<sup>1</sup>, LU Jianqi<sup>2</sup>, WEN Zhihao<sup>2</sup>, ZHU Zhide<sup>1</sup>, JIANG Zhixiong<sup>1</sup>, HE Xiaoling<sup>1</sup>

1. Guangxi University of Chinese Medicine, Nanning 530200, China

2. Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital of Guangxi University of Chinese Medicine/Branch Center of National Clinical Research Center of Traditional Chinese Medicine and Cardiovascular Disease, Nanning 530200, China

Corresponding author: ZHU Zhide, E-mail: zzd\_15977775151@163.com

**【Abstract】** Cardiovascular disease (CVD) is a major public health problem in the world, and its mortality rate among non-communicable diseases has always ranked the first in the world. With the development of social economy, the number of CVD cases in China continues to increase, so cardiac rehabilitation (CR) is particularly important for CVD patients. Exercise training is the core part of CR, it can reduce the occurrence of cardiovascular events, improve the cardiorespiratory fitness of patients, promote psychological health, and improve the prognosis of patients with CVD, thereby benefiting patients. At this stage, CR exercise training is mainly composed of five modules: aerobic exercise, resistance training, flexibility training, balance function training, and breathing function training. Developing a good emergency treatment plan, promoting the application of traditional Chinese exercise in CR, improving the talents, funding and scientific research input of CR field in China, promoting a complete rehabilitation medical system, combining modern science and technology with CR exercise training to synergistically promote the development of CR are still the focus of current work. This article systematically combs the clinical application progress of CR exercise training, and takes a thinking outlook on several existing issues, in order to provide a reference for clinical workers to guide patients' exercise training.

**【Key words】** Cardiovascular disease; Cardiac rehabilitation; Exercise prescription; Clinical application; Review

心血管疾病(cardiovascular disease, CVD)在非传染性疾病中的病死率一直居于全球首位,是世界重大公共卫生问

题,随着社会经济的发展,我国CVD发病人数持续增加,因此对CVD患者的心脏康复(cardiac rehabilitation, CR)尤为重要<sup>[1-2]</sup>。CR是一种综合干预措施,其是利用医学评估、运动训练、教育及生活方式改变等方式提高CVD患者的二级预防结果,从而使患者受益,其中持续监测的、个性化的运动训练是CR的核心<sup>[3]</sup>。既往研究发现,以运动训练为核心的CR的临床应用效果明显,尤其在慢性心力衰竭、冠心病、心肌梗死等疾病中,且安全性较高<sup>[4-6]</sup>。现阶段CR运动处方主要由有氧运动、抗阻训练、柔韧性训练、平衡能力训练、呼吸功能训练五

基金项目:国家自然科学基金(82160887);广西中医药适宜技术开发与推广项目(GZSY21-17)

1.530200广西壮族自治区南宁市,广西中医药大学

2.530200广西壮族自治区南宁市,广西中医药大学第一附属医院心内科 国家中医心血管病临床医学研究中心分中心

通信作者:朱智德, E-mail: zzd\_15977775151@163.com

个模块构成<sup>[7]</sup>,运动处方在改善血管内皮功能、心肌血流储备,减少吸烟,控制体质量、血糖、血脂和血压中发挥着不可替代的作用<sup>[8]</sup>。目前,美国心脏协会<sup>[9]</sup>、加拿大心脏康复协会<sup>[10]</sup>、欧洲心血管预防和康复协会<sup>[11]</sup>等均制定了CR运动指南,虽然近十年我国CR的发展已取得明显成效,但仍存在诸多问题尚待完善<sup>[12-13]</sup>。基于此,本文系统归纳并梳理了CR运动训练的临床应用进展,并对现存的若干问题进行思考,以期临床工作者指导患者进行运动训练提供参考。

## 1 运动训练的获益

**1.1 减少心血管事件的发生** 研究证实,运动期间的重复血流动力学刺激可提高心血管抗动脉粥样硬化功能的适应性,这有助于减少心血管事件的发生<sup>[14]</sup>。血管内皮功能正常与否可直接影响动脉粥样硬化的发展,相关研究结果显示,运动强度以剂量依赖的方式改善血管内皮功能,从而达到防治动脉粥样硬化的效果<sup>[15-16]</sup>。冠心病并发心室颤动是心源性猝死的主要原因之一,GLINGE等<sup>[17]</sup>认为定量的运动可通过调节自主神经系统有效预防危及生命的恶性心律失常。心率变异性(heart rate variability, HRV)低是自主神经功能障碍的标志,而规律的运动可有效控制CVD患者HRV,从而预防心律失常的发生<sup>[18-19]</sup>。心脏缺血后可导致缺血-再灌注损伤,这一过程涉及钙信号失调、氧化损伤以及线粒体功能障碍<sup>[20]</sup>。心脏预处理可通过短暂延长缺血时间而有效减轻缺血-再灌注损伤<sup>[21]</sup>。研究发现,运动训练可诱导心脏预处理,使肥胖小鼠心肌梗死损伤范围减少67%,有效减少心肌梗死后心血管事件的发生<sup>[22]</sup>。心肌再生能力受损是心肌梗死的危害之一,可导致预后不良,但该领域的研究尚未取得实质性进展。有研究提出运动可诱导心肌修复,其可能机制是通过促进端粒酶的激活或神经调节蛋白1依赖的表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor, ErbB)2和ErbB4通路的激活,从而诱导心肌修复<sup>[23-24]</sup>。总之,科学合理的运动训练方案可有效减少心血管事件的发生,但其具体机制复杂多样,后续的研究应深入探索以为CR运动处方提供科学的理论依据。

**1.2 提高心肺适能(cardiorespiratory fitness, CRF)** CRF是反映有氧运动能力的“金指标”,较高水平的CRF可以降低一些疾病如脑卒中、心肌梗死等心血管疾病的发病率<sup>[25]</sup>。研究发现,CRF与CVD患者全因死亡率呈负相关<sup>[26]</sup>。CAI等<sup>[27]</sup>通过对499例患者进行研究,个体化运动训练可明显提升其CRF。另有研究证实,CRF与心房颤动(atrial fibrillation, AF)发生风险之间存在剂量关联,表现为CRF水平越高AF发生风险越低,即CRF与AF发生风险呈负相关<sup>[28]</sup>,提示通过运动训练提高CRF可有效预防AF的发生,为CR的顺利实施提供安全保障,但在有氧运动过程中要严密监控,防止运动损伤的出现,确保患者的安全。

**1.3 促进心理健康** 既往研究证实,焦虑抑郁可能为CVD发病的触发因素或影响CVD预后的独立危险因素<sup>[29]</sup>,而运动训练可克服CVD患者心理障碍,减少情志因素对其身体的有害影响。一项RCT发现,有氧运动可以进一步改善抑郁患者的躯体、情感和认知障碍<sup>[30]</sup>。停止运动1 min后的心率恢复(heart rate recovery-1, HRR-1)可反映患者运动后心率恢

复到运动前正常水平的速度,是评估CVD患者预后的重要指标。探讨HRR-1与CR患者社会心理危险因素之间关系的研究发现,CR患者的HRR-1水平与抑郁症状呈负相关,而通过CR运动训练可有效提升HRR-1水平,这也为提高运动能力可改善患者焦虑抑郁状态提供了佐证<sup>[31-32]</sup>。如今随着“双心医学”的发展,人们逐渐认识到应重视CR过程中患者的心理健康,识别容易出现心理问题的患者并及时干预与治疗,同时运用合理的运动训练以减少精神压力诱发的心血管事件,提升CR效果。

**1.4 改善CVD预后** 既往研究证实,运动能力的提升可降低CVD患者的死亡率和住院风险,明显改善患者生活质量<sup>[33]</sup>。KAMIYA等<sup>[34]</sup>开展了一项纳入1 592例心力衰竭患者的多中心回顾性研究,结果显示,运动训练可明显改善患者的预后。有研究者探讨了参加CR运动训练计划与心力衰竭患者预后、住院风险的关系,结果显示,参加CR运动训练计划的421例心力衰竭患者死亡率或住院风险明显降低,这也证明运动训练可有效改善心力衰竭患者的预后<sup>[35]</sup>。相关Meta分析结果也进一步证实,基于运动训练的CR可有效降低射血分数降低的心力衰竭患者的死亡率、住院率,提高其运动能力和生活质量<sup>[36]</sup>。基于39个国家的15 486例CVD患者运动能力与死亡率之间关系的随访研究结果显示,在CVD患者中较高的运动能力与较低的死亡率相关,同时该研究还发现,运动使久坐不动的患者和死亡风险高的患者获益最大<sup>[37]</sup>。由以上研究可推测以运动训练为核心的CR可改善CVD患者预后,同时建议对运动能力的评估应当同其他CVD危险因素一样受到重视。

## 2 运动训练的应用

**2.1 有氧运动** 基于CRF对CVD预后的重要价值,美国心脏协会建议将其视为临床“第五生命体征”<sup>[38]</sup>。有氧运动一直以来都被认为是CR的核心组成,研究发现有氧运动是提升CVD患者CRF的有效方式<sup>[39]</sup>,常见的有氧运动方式包括慢跑、脚踏车、游泳、健身功法、借助器械完成的划船、行走等。有氧运动对冠心病、慢性心力衰竭、心脏移植术后以及高血压、肥胖、糖尿病、代谢综合征等CVD高危人群均适用,合理的有氧运动可有效控制CVD危险因素、减轻症状、提高患者运动耐量和生存质量<sup>[40]</sup>。心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)是目前监测有氧运动水平最精确的方法,其监测的峰值摄氧量(peak oxygen uptake, peak VO<sub>2</sub>)、无氧阈(anaerobic threshold, AT)、代谢当量(metabolic equivalent, MET)等可作为评估CR效果的“金指标”<sup>[40]</sup>。SMARZ等<sup>[41]</sup>利用CPET评估急性心肌梗死患者CR后运动能力改善的机制,结果发现,运动能力的改善和周围氧摄取能力提升有关。一项通过CPET评估有氧间歇训练(aerobic interval training, AIT)对AF患者心血管健康和生活方式影响的RCT发现,12周的AIT可缩短AF发作时间,改善AF症状、peak VO<sub>2</sub>、左心房和左心室功能、血脂水平和生活质量<sup>[42]</sup>。

**2.2 抗阻训练** 抗阻训练亦称为肌力训练,是一种可提高心血管功能的训练方法,通常指身体克服阻力以达到肌肉增长和力量增加的过程,抗阻训练可刺激骨骼肌增长,增强肌肉耐力、力量,有利于控制CVD的危险因素如肥胖、糖尿病、高

脂血症,对冠心病、心肌梗死、心力衰竭等患者均适用<sup>[43]</sup>。科学合理的抗阻训练可改善心脏功能,抑制肌肉力量减退,提高生活质量,使患者更好地回归工作和生活。相关Meta分析证实,渐进式抗阻训练可增加成年冠心病患者上半身力量,并提高有氧运动能力<sup>[44]</sup>。抗阻训练形式多样,常见的有等速肌力测试仪、哑铃、弹力带、俯卧撑、仰卧卷腹、半蹲等。国内CR团队利用弹力带对42例社区老年人进行为期4周的干预,结果显示,弹力带可有效提升老年人的肌力及肌耐力,可作为社区或家庭CR的理想方案<sup>[45]</sup>。KATO等<sup>[46]</sup>以CR对持续性AF患者导管消融术后运动能力、炎症状态、心功能的影响为研究重点,对61例受试者进行骑自行车、跑步机行走及基于器械的力量训练(划船、腿部伸展、腿部卷曲、臀部外展内收和腿部按压)后发现,CR抗阻训练改善了患者的运动能力、全身炎症状态以及左心室收缩功能,且未增加AF的复发风险。

**2.3 柔韧性训练** 柔韧性训练主要指对关节肌腱、韧带、肌肉等软组织的拉伸运动,开展柔韧性训练的目的在于增强训练者的伸展能力,增加其身体的柔韧性,在一定程度上提高了关节的活动幅度。此外,柔韧性训练还可以降低受伤风险、改善体型、平衡肌肉、释放压力。在现有的共识中柔韧性训练主要作为CR的热身和整理运动,是CR的必要补充<sup>[47]</sup>。柔韧性训练尤其适用于中老年患者,随着年龄增长,关节囊、韧带、肌腱等均会出现不同程度的老化,进一步导致各种退行性疾病,如颈椎病、肩周炎、腰椎间盘突出症等,而柔韧性训练可改善患者这类症状,提升其运动能力,为CR的开展提供支持。瑜伽是公认的柔韧性运动,研究证实瑜伽与CVD危险因素改善有关,其在CR中的应用也日益普及<sup>[48]</sup>。一项涉及3 959例患者的RCT发现,瑜伽干预组心肌梗死患者活动能力恢复率高于对照组<sup>[49]</sup>。此外,对骨骼肌的拉伸运动会引起较为明显的微循环反应,从而改善动脉血管血流、剪切速率以及氧气的利用率。如果长期进行拉伸运动则可能会促进一氧化氮生物利用度的增加,进而改善血管功能,预防心血管动脉粥样硬化,促进血压降低。总的来说,拉伸运动可以作为一种新的替代性低强度干预措施,从而促进心血管功能的改善<sup>[50]</sup>。

**2.4 平衡能力训练** 平衡能力指在不同环境下维持身体姿势的能力,有效的平衡能力训练是开展CR的基础。平衡能力受损是患者跌倒的重要危险因素,CVD患者由于运动能力下降、肌力减弱、协调性功能障碍、本体感觉功能下降等导致平衡能力较差,通过一定的训练可提高患者躯干和下肢负重能力,改善其平衡能力,降低跌倒风险,提高生活能力与生活质量。目前主要通过功能性前伸、站立训练等进行平衡能力评估与训练,该类训练方法适用于多种CVD患者的康复,尤其是伴有脑血管病的CVD患者<sup>[51]</sup>。国外一项评估稳定性和协调性训练方案对老年CVD患者平衡能力影响的研究发现,在对受试者进行12周的站立训练后其平衡能力得到明显改善,提示稳定性和协调性训练可以改善患者静态和动态平衡以及肌肉力量,这些训练应当纳入CR方案中<sup>[52]</sup>。另一项研究评估老年患者心脏瓣膜术后CR计划中增添平衡能力训练的短期和中期效果,结果显示,干预后患者虚弱水平明显得到改善<sup>[53]</sup>。以上研究进一步说明了平衡能力训练对于CR的重要性。

**2.5 呼吸功能训练** 呼吸功能训练适用于慢性心力衰竭患者,尤其是长期卧床合并咳嗽反射、呼吸肌力量减弱的严重心力衰竭患者,其是此类患者顺利开展CR的必要保障。慢性心力衰竭患者由于心排血量下降而导致外周骨骼肌(包括呼吸肌)的低灌注及血管的收缩,进而产生代谢和结构的异常,最终造成呼吸肌萎缩导致的呼吸困难<sup>[40]</sup>。系统的呼吸功能训练可改善患者呼吸功能,增强其心脏功能,提高其生活质量。运用较多的呼吸功能训练方式有缩唇式呼气训练、胸廓训练、腹肌训练等<sup>[54]</sup>。研究显示,合并呼吸肌无力的慢性心力衰竭患者肺功能明显降低,运动耐量和生存率也明显下降<sup>[55]</sup>。慢呼吸训练(slow breathing training, SBT)可作为慢性心力衰竭患者的一种新的非药物治疗方法,KAWECKA-JASZCZ等<sup>[56]</sup>研究发现,SBT能提高受试者运动能力和心脏收缩功能及减少其睡眠障碍,因此可作为慢性心力衰竭患者CR计划的组成部分。另有一项研究测试了家庭日常呼吸训练能否提高年轻法洛四联征(tetralogy of fallot, ToF)患者运动能力和肺容量,结果显示,家庭日常呼吸训练增加了年轻ToF患者的动态肺容量及peak VO<sub>2</sub><sup>[57]</sup>。

### 3 现代科学技术在运动训练中的应用

如今利用虚拟现实技术与可穿戴设备进行运动训练是大势所趋,有研究评估日本的运动游戏机Wii对老年心力衰竭患者运动能力和日常体力活动的影响,结果发现,运动游戏机Wii可提高老年慢性心力衰竭患者的运动能力,是一种可行的CR方式<sup>[58]</sup>。在CR的不同阶段,虚拟现实技术可以作为CVD患者运动处方的补充方案,但仍需进行深入的研究,以确定理想的技术系统、目标人群和科学的康复方案<sup>[59]</sup>。例如,一项评估可穿戴设备是否可用于监测未来CR计划中的家庭锻炼情况的研究发现,在CVD患者的CPET中采用可穿戴设备Apple Watch测量其心率具有一定准确性,但将其运用到CR尚需谨慎对待<sup>[60]</sup>。此外,随着5G网络和移动终端技术的发展,网络监测下的远程运动训练作为CR的一种新形式,可在研究和临床实践中得到发展。总之,现代科技与CR相结合在未来将是一种可行的方案,不仅可打破传统CR的时间、地域限制,还可以有效提高患者的参与度与依从性,值得大力推广。

### 4 小结及展望

虽然运动训练是CR的核心内容,但其在应用过程中出现的问题仍不容忽视。首先是操作过程中的安全问题,CVD患者在运动训练过程中一定要合理控制运动强度并确保在持续监测下进行。同时应做好运动前评估,掌握患者运动训练禁忌证并选择合适的CR方案。总之,科学合理地制定CR运动训练计划,同时做好运动损伤与心血管事件的应急预案应当是CR运动训练的首要注意事项<sup>[61]</sup>。我国传统功法如太极拳、八段锦、五禽戏等是CR运动方案的有益补充,具有一定的可行性与安全性,研究证实传统功法可明显减少CVD危险因素,增强CVD患者运动能力,促进患者身心健康,推测传统功法在CR中具有广阔的应用前景<sup>[62]</sup>。此外,建立一套完善的CR治疗体系亦是当下工作的重中之重。CR是一种涉及面广、多学科干预的综合治疗方案,相较于国外已经完备的CR体系,我国医院-社区-家庭一体化慢性病管理的CR尚处于初级

阶段,这就导致了患者知晓率、参与率低以及依从性较差的问题,直接影响到CR的疗效<sup>[63]</sup>。故今后应当加大该学科经费、人才等投入,临床工作者亦应更加关注CVD患者的CR,多方协同促进该学科的发展。

综上所述,运动训练除了改善血管内皮功能、心肌血流储备,减少吸烟,控制体质量、血糖、血脂和血压等CVD危险因素之外,还可通过诱导生理适应而直接或间接保护心脏,提高CRF,减少心血管事件的发生,促进心理健康,使患者能更好地融入社会,改善CVD患者预后及提高其生活质量,降低患者死亡率。目前,CR运动训练主要由有氧运动、抗阻训练、柔韧性训练、平衡能力训练、呼吸功能训练五大模块组成,但目前该方案临床普及度较低。同时,采用CR运动训练计划应制定好应急处理预案,并推动中国传统功法在CR中的应用,提高我国CR领域人才、经费、科研投入,形成完备的康复医疗体系,利用现代科技与CR运动训练相结合,协同促进CR的发展仍是当前工作的重点。

作者贡献: 祁祥进行文章的构思与设计,撰写、修订论文;卢健棋、温志浩进行文章的可行性分析;蒋志雄进行文献/资料收集;何晓玲进行文献/资料整理;朱智德负责文章的质量控制及审校,并对文章整体负责、监督管理。

本文无利益冲突。

#### 参考文献

- [1] 中国心血管健康与疾病报告编写组.中国心血管健康与疾病报告2020概要[J].中国循环杂志, 2021, 36(6): 521-545.DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2021.06.001.
- [2] MCALOON C J, BOYLAN L M, HAMBORG T, et al.The changing face of cardiovascular disease 2000—2012: an analysis of the world health organisation global health estimates data [J].Int J Cardiol, 2016, 224: 256-264.DOI: 10.1016/j.ijcard.2016.09.026.
- [3] THOMAS R J, BEATTY A L, BECKIE T M, et al.Home-based cardiac rehabilitation: a scientific statement from the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation, the American Heart Association, and the American College of Cardiology [J].J Am Coll Cardiol, 2019, 74(1): 133-153.DOI: 10.1016/j.jacc.2019.03.008.
- [4] QIN Y, KUMAR B P, YUAN Z L, et al.The effect of high-intensity interval training on exercise capacity in post-myocardial infarction patients: a systematic review and meta-analysis [J].Eur J Prev Cardiol, 2022, 29(3): 475-484.DOI: 10.1093/EURJPC/ZWAB060.
- [5] PALMER K, BOWLES K A, PATON M, et al.Chronic heart failure and exercise rehabilitation: a systematic review and meta-analysis [J].Arch Phys Med Rehabil, 2018, 99(12): 2570-2582. DOI: 10.1016/j.apmr.2018.03.015.
- [6] ROSENBAUM A N, KREMERS W K, SCHIRGER J A, et al.Association between early cardiac rehabilitation and long-term survival in cardiac transplant recipients [J].Mayo Clin Proc, 2016, 91(2): 149-156.DOI: 10.1016/j.mayocp.2015.12.002.
- [7] 刘遂心,董蕾.运动能力——不容忽视的死亡预测因子[J].中国实用内科杂志, 2017, 37(7): 583-586.DOI: 10.19538/j.nk2017070102.
- [8] MCMAHON S R, ADES P A, THOMPSON P D.The role of cardiac rehabilitation in patients with heart disease [J].Trends Cardiovasc Med, 2017, 27(6): 420-425.DOI: 10.1016/j.tem.2017.02.005.
- [9] BALADY G J, WILLIAMS M A, ADES P A, et al.Core components of cardiac rehabilitation/secondary prevention programs: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Exercise, Cardiac Rehabilitation, and Prevention Committee, the Council on Clinical Cardiology; the Councils on Cardiovascular Nursing, Epidemiology and Prevention, and Nutrition, Physical Activity, and Metabolism; and the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation [J].J Cardiopulm Rehabil Prev, 2007, 27(3): 121-129.DOI: 10.1097/01.HCR.0000270696.01635.aa.
- [10] STONE J A, ARTHUR H M, Canadian Association of Cardiac Rehabilitation Guidelines Writing Group.Canadian guidelines for cardiac rehabilitation and cardiovascular disease prevention, second edition, 2004: executive summary [J].Can J Cardiol, 2005, 21 Suppl D: 3D-19.
- [11] European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation Committee for Science Guidelines, CORRÀ U, PIEPOLI M F, et al.Secondary prevention through cardiac rehabilitation: physical activity counselling and exercise training: key components of the position paper from the Cardiac Rehabilitation Section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation [J].Eur Heart J, 2010, 31(16): 1967-1974.DOI: 10.1093/eurheartj/ehq236.
- [12] 高嘉良,陈光,李海霞,等.以太极拳为主的中医传统运动在心脏康复中的作用[J].中医杂志, 2021, 62(3): 199-204. DOI: 10.13288/j.11-2166/r.2021.03.004.
- [13] 中国康复医学会心血管病预防与康复专业委员会, 中国老年学与老年医学学会, 心血管病专业委员会.医院主导的家庭心脏康复中国专家共识 [J].中华内科杂志, 2021, 60(3): 207-215.DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20200629-00630.
- [14] GREEN D J, HOPMAN M T, PADILLA J, et al.Vascular adaptation to exercise in humans: role of hemodynamic stimuli [J].Physiol Rev, 2017, 97(2): 495-528.DOI: 10.1152/physrev.00014.2016.
- [15] ASHOR A W, LARA J, SIERVO M, et al.Exercise modalities and endothelial function: a systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials [J].Sports Med, 2015, 45(2): 279-296.DOI: 10.1007/s40279-014-0272-9.
- [16] LIANG S, ZHANG J Y, NING R H, et al.The critical role of endothelial function in fine particulate matter-induced atherosclerosis [J].Part Fibre Toxicol, 2020, 17(1): 61.DOI: 10.1186/s12989-020-00391-x.
- [17] GLINGE C, SATTTLER S, JABBARI R, et al.Epidemiology and genetics of ventricular fibrillation during acute myocardial infarction [J].J Geriatr Cardiol, 2016, 13(9): 789-797.DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2016.09.006.

- [ 18 ] BILLMAN G E, CAGNOLI K L, CSEPE T, et al. Exercise training-induced bradycardia: evidence for enhanced parasympathetic regulation without changes in intrinsic sinoatrial node function [ J ] . *J Appl Physiol* ( 1985 ) , 2015, 118 ( 11 ) : 1344-1355. DOI: 10.1152/jappphysiol.01111.2014.
- [ 19 ] PEARSON M J, SMART N A. Exercise therapy and autonomic function in heart failure patients: a systematic review and meta-analysis [ J ] . *Heart Fail Rev*, 2018, 23 ( 1 ) : 91-108. DOI: 10.1007/s10741-017-9662-z.
- [ 20 ] SHEN Y M, LIU X J, SHI J H, et al. Involvement of Nrf2 in myocardial ischemia and reperfusion injury [ J ] . *Int J Biol Macromol*, 2019, 125: 496-502. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.190.
- [ 21 ] FRASIER C R, MOORE R L, BROWN D A. Exercise-induced cardiac preconditioning: how exercise protects your achy-breaky heart [ J ] . *J Appl Physiol* ( 1985 ) , 2011, 111 ( 3 ) : 905-915. DOI: 10.1152/jappphysiol.00004.2011.
- [ 22 ] PONS S, MARTIN V, PORTAL L, et al. Regular treadmill exercise restores cardioprotective signaling pathways in obese mice independently from improvement in associated co-morbidities [ J ] . *J Mol Cell Cardiol*, 2013, 54: 82-89. DOI: 10.1016/j.yjmcc.2012.11.010.
- [ 23 ] CAI M X, SHI X C, CHEN T, et al. Exercise training activates neuregulin 1/ErbB signaling and promotes cardiac repair in a rat myocardial infarction model [ J ] . *Life Sci*, 2016, 149: 1-9. DOI: 10.1016/j.lfs.2016.02.055.
- [ 24 ] SANCHIS-GOMAR F, LUCIA A. Acute myocardial infarction: 'telomerase' for cardioprotection [ J ] . *Trends Mol Med*, 2015, 21 ( 4 ) : 203-205. DOI: 10.1016/j.molmed.2015.02.001.
- [ 25 ] 孙景权, 上官若男, 严翊, 等. 心肺适能和炎症标志物的相关性及其机制的研究进展 [ J ] . *中国康复医学杂志*, 2016, 31 ( 2 ) : 228-234. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2016.02.022.
- [ 26 ] BAHL S, GROB S, BAUMEISTER S E, et al. Association of domain-specific physical activity and cardiorespiratory fitness with all-cause and cause-specific mortality in two population-based cohort studies [ J ] . *Sci Rep*, 2018, 8 ( 1 ) : 16066. DOI: 10.1038/s41598-018-34468-7.
- [ 27 ] CAI H, ZHENG Y, LIU Z X, et al. Effect of pre-discharge cardiopulmonary fitness on outcomes in patients with ST-elevation myocardial infarction after percutaneous coronary intervention [ J ] . *BMC Cardiovasc Disord*, 2019, 19 ( 1 ) : 210. DOI: 10.1186/s12872-019-1189-x.
- [ 28 ] XUE Z B, ZHOU Y, WU C Y, et al. Dose-response relationship of cardiorespiratory fitness with incident atrial fibrillation [ J ] . *Heart Fail Rev*, 2020, 25 ( 3 ) : 419-425. DOI: 10.1007/s10741-019-09871-5.
- [ 29 ] DE HERT M, DETRAUX J, VANCAMPFORT D. The intriguing relationship between coronary heart disease and mental disorders [ J ] . *Dialogues Clin Neurosci*, 2018, 20 ( 1 ) : 31-40.
- [ 30 ] ASKARI J, SABERI-KAKHKI A, TAHERI H, et al. The effect of aerobic exercise on various symptoms of depression: the mediating role of quality of life [ J ] . *Sport Sci Health*, 2020, 16: 273-280. DOI: 10.1007/s11332-019-00601-w.
- [ 31 ] ASTOLFI T, BORRANI F, SAVCIC M, et al. Heart rate recovery of individuals undergoing cardiac rehabilitation after acute coronary syndrome [ J ] . *Ann Phys Rehabil Med*, 2018, 61 ( 2 ) : 65-71. DOI: 10.1016/j.rehab.2017.10.005.
- [ 32 ] STAUBER S, ROHRBACH T, SANER H, et al. Heart rate recovery after exercise in outpatients with coronary heart disease: role of depressive symptoms and positive affect [ J ] . *J Clin Psychol Med Settings*, 2017, 24 ( 3/4 ) : 376-384. DOI: 10.1007/s10880-017-9511-1.
- [ 33 ] TAYLOR R S, DALAL H M, MCDONAGH S T J. The role of cardiac rehabilitation in improving cardiovascular outcomes [ J ] . *Nat Rev Cardiol*, 2022, 19 ( 3 ) : 180-194. DOI: 10.1038/s41569-021-00611-7.
- [ 34 ] KAMIYA K, SATO Y, TAKAHASHI T, et al. Multidisciplinary cardiac rehabilitation and long-term prognosis in patients with heart failure [ J ] . *Circ Heart Fail*, 2020, 13 ( 10 ) : e006798. DOI: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.119.006798.
- [ 35 ] SABBAG A, MAZIN I, ROTT D, et al. The prognostic significance of improvement in exercise capacity in heart failure patients who participate in cardiac rehabilitation programme [ J ] . *Eur J Prev Cardiol*, 2018, 25 ( 4 ) : 354-361. DOI: 10.1177/2047487317750427.
- [ 36 ] BJARNASON-WEHRENS B, NEBEL R, JENSEN K, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation in patients with reduced left ventricular ejection fraction: the Cardiac Rehabilitation Outcome Study in Heart Failure (CROS-HF): a systematic review and meta-analysis [ J ] . *Eur J Prev Cardiol*, 2020, 27 ( 9 ) : 929-952. DOI: 10.1177/2047487319854140.
- [ 37 ] STEWART R A H, HELD C, HADZIOSMANOVIC N, et al. Physical activity and mortality in patients with stable coronary heart disease [ J ] . *J Am Coll Cardiol*, 2017, 70 ( 14 ) : 1689-1700. DOI: 10.1016/j.jacc.2017.08.017.
- [ 38 ] ROSS R, BLAIR S N, ARENA R, et al. Importance of assessing cardiorespiratory fitness in clinical practice: a case for fitness as a clinical vital sign: a scientific statement from the American Heart Association [ J ] . *Circulation*, 2016, 134 ( 24 ) : e653-699. DOI: 10.1161/CIR.0000000000000461.
- [ 39 ] 杨璐, 吴威, 安俊清, 等. 有氧运动对高龄冠心病患者经皮冠状动脉介入术后心肺功能及生存质量的影响 [ J ] . *中国老年学杂志*, 2020, 40 ( 5 ) : 1010-1013. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9202.2020.05.037.
- [ 40 ] 李四维. 心肺运动试验在心脏康复评估中的应用 [ J ] . *中国循环杂志*, 2017, 32 ( 4 ) : 331-333. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2017.04.006.
- [ 41 ] SMARZ K, JAXA-CHAMIEC T, ZABORSKA B, et al. Mechanisms of exercise capacity improvement after cardiac

- rehabilitation following myocardial infarction assessed with combined stress echocardiography and cardiopulmonary exercise testing [J]. *J Clin Med*, 2021, 10 (18): 4083. DOI: 10.3390/jcm10184083.
- [42] MALMO V, NES B M, AMUNDSEN B H, et al. Aerobic interval training reduces the burden of atrial fibrillation in the short term: a randomized trial [J]. *Circulation*, 2016, 133 (5): 466-473. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018220.
- [43] WILLIAMS M A, HASKELL W L, ADES P A, et al. Resistance exercise in individuals with and without cardiovascular disease: 2007 update: a scientific statement from the American Heart Association Council on Clinical Cardiology and Council on Nutrition, Physical Activity, and Metabolism [J]. *Circulation*, 2007, 116 (5): 572-584. DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.107.185214.
- [44] HOLLINGS M, MAVROS Y, FREESTON J, et al. The effect of progressive resistance training on aerobic fitness and strength in adults with coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2017, 24 (12): 1242-1259. DOI: 10.1177/2047487317713329.
- [45] 邱玲, 张文亮, 顿耀山, 等. 自编第二套弹力带强心复健操对社区老年人体适能的影响 [J]. *中国实用内科杂志*, 2017, 37 (7): 626-630. DOI: 10.19538/j.nk2017070113.
- [46] KATO M, OGANO M, MORI, et al. Exercise-based cardiac rehabilitation for patients with catheter ablation for persistent atrial fibrillation: a randomized controlled clinical trial [J]. *Eur J Prev Cardiol*, 2019, 26 (18): 1931-1940. DOI: 10.1177/2047487319859974.
- [47] 中国康复医学会心血管病预防与康复专业委员会. 慢性心力衰竭心脏康复中国专家共识 [J]. *中华内科杂志*, 2020, 59 (12): 942-952. DOI: 10.3760/cma.j.cn112138-20200309-00210.
- [48] GORDON J L, HALLERAN M, BESHAI S, et al. Endocrine and psychosocial moderators of mindfulness-based stress reduction for the prevention of perimenopausal depressive symptoms: a randomized controlled trial [J]. *Psychoneuroendocrinology*, 2021, 130: 105277. DOI: 10.1016/j.psyneuen.2021.105277.
- [49] PRABHAKARAN D, CHANDRASEKARAN A M, SINGH K, et al. Yoga-based cardiac rehabilitation after acute myocardial infarction: a randomized trial [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 75 (13): 1551-1561. DOI: 10.1016/j.jacc.2020.01.050.
- [50] KRUSE N T, SCHEUERMANN B W. Cardiovascular responses to skeletal muscle stretching: "stretching" the truth or a new exercise paradigm for cardiovascular medicine? [J]. *Sports Med*, 2017, 47 (12): 2507-2520. DOI: 10.1007/s40279-017-0768-1.
- [51] 上海市康复医学会心脏康复专业委员会, 脑卒中合并稳定性冠心病运动康复专家共识编写组. 脑卒中合并稳定性冠心病运动康复专家共识 [J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33 (4): 379-384. DOI: 10.3969/j.issn.1001-1242.2018.04.002.
- [52] SEGEV D, HELLERSTEIN D, CARASSO R, et al. The effect of a stability and coordination training programme on balance in older adults with cardiovascular disease: a randomised exploratory study [J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2019, 18 (8): 736-743. DOI: 10.1177/1474515119864201.
- [53] TAMULEVIČIŪTĖ-PRASCIENĖ E, BEIGIENĖ A, THOMPSON M J, et al. The impact of additional resistance and balance training in exercise-based cardiac rehabilitation in older patients after valve surgery or intervention: randomized control trial [J]. *BMC Geriatr*, 2021, 21 (1): 23. DOI: 10.1186/s12877-020-01964-3.
- [54] 杨翔宇. 呼吸训练可改善心力衰竭患者的临床效果 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2018, 37 (3): 943-948. DOI: 10.13417/j.gab.037.000943.
- [55] HAMAZAKI N, KAMIYA K, MATSUZAWA R, et al. Prevalence and prognosis of respiratory muscle weakness in heart failure patients with preserved ejection fraction [J]. *Respir Med*, 2020, 161: 105834. DOI: 10.1016/j.rmed.2019.105834.
- [56] KAWECKA-JASZCZ K, BILO G, DROŹDŹ T, et al. Effects of device-guided slow breathing training on exercise capacity, cardiac function, and respiratory patterns during sleep in male and female patients with chronic heart failure [J]. *Pol Arch Intern Med*, 2017, 127 (1): 8-15. DOI: 10.20452/pamw.3890.
- [57] HOCK J, REMMELE J, OBERHOFFER R, et al. Breathing training improves exercise capacity in patients with tetralogy of fallot: a randomised trial [J]. *Heart*, 2022, 108 (2): 111-116. DOI: 10.1136/heartjnl-2020-318574.
- [58] KLOMPSTRA L, JAARSMA T, STRÖMBERG A. Exergaming to increase the exercise capacity and daily physical activity in heart failure patients: a pilot study [J]. *BMC Geriatr*, 2014, 14: 119. DOI: 10.1186/1471-2318-14-119.
- [59] GARCÍA-BRAVO S, CUESTA-GÓMEZ A, CAMPUZANO-RUIZ R, et al. Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review [J]. *Disabil Rehabil*, 2021, 43 (4): 448-457. DOI: 10.1080/09638288.2019.1631892.
- [60] FALTER M, BUDTS W, GOETSCHALCKX K, et al. Accuracy of apple watch measurements for heart rate and energy expenditure in patients with cardiovascular disease: cross-sectional study [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2019, 7 (3): e11889. DOI: 10.2196/11889.
- [61] 袁丽霞, 丁荣晶. 中国心脏康复与二级预防指南解读 [J]. *中国循环杂志*, 2019, 34 (S1): 86-90. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3614.2019.增刊.020.
- [62] WANG X Q, PI Y L, CHEN P J, et al. Traditional Chinese exercise for cardiovascular diseases: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Am Heart Assoc*, 2016, 5 (3): e002562. DOI: 10.1161/JAHA.115.002562.
- [63] 苏媛媛, 张伟宏, 宋晓月, 等. 抗阻运动对心血管疾病患者心脏康复作用的研究进展 [J]. *中华护理杂志*, 2017, 52 (2): 154-157.

(收稿日期: 2022-04-17; 修回日期: 2022-07-06)

(本文编辑: 张浩)