



冠心病康复中有氧运动强度设定方法的比较及展望

刘功亮¹, 杨坚^{2*}, 李擎², 王人卫¹

摘要: 运动康复是冠心病康复的核心内容, 其中有氧运动是基础。冠心病常规运动康复程序是对患者开展康复评估及危险分层后, 给予区分危险度后的个体化康复运动, 运动处方的制定是关键。如何准确客观地确定有氧运动强度是冠心病康复运动处方的重要环节。本文综述了不同冠心病康复有氧运动强度设定方法的优势、局限性及其临床应用状况, 以期对冠心病患者进行有氧运动提供安全有效的强度设定方法, 促进心脏康复在国内的发展与推广。

关键词: 冠心病康复; 有氧运动; 运动强度

中图分类号: G804.4 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2016)02-0084-06

Comparison and Prospect of the Setting Method of Aerobic Exercise Intensity in Coronary Heart Disease Rehabilitation

LIU Gongliang¹, YANG Jian², LI Qing², WANG Renwei¹

(1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2. Shanghai Xuhui Central Hospital, Shanghai 200031, China)

Abstract: Sports rehabilitation is the core content of coronary heart disease rehabilitation. It is based on aerobic exercise. Rehabilitation assessment and risk stratification for patients are the first step in coronary heart disease routine rehabilitation program. Then an individualized rehabilitation exercise program will be worked out after distinguishing risk degrees. The key lies in the formulation of exercise prescription. The most important is to determine aerobic exercise intensity accurately and objectively for formulating the prescription. The paper summarizes the advantages, limitations and clinical application status of the different methods for the determination of aerobic exercise intensity in coronary heart rehabilitation. The aim is to provide a safe and effective method for choosing the appropriate aerobic exercise intensity for the patients with coronary heart disease and promote the development and promotion of cardiac rehabilitation in China.

Key Words: coronary heart disease rehabilitation; aerobic exercise; exercise intensity

冠心病作为一种常见的慢性疾病, 严重威胁着人类健康与寿命, 是全球范围内引起死亡的首位原因^[1-5]。近年来, 随着经济发展和生活方式的西方化与城市化, 我国居民冠心病的发病率和死亡率也逐年上升^[6]。有学者预计, 到2030年, 由于人口老龄化、吸烟、高血压以及其他风险因素, 中国心血管疾病死亡率的上升幅度将会高达73%^[7]。随着人们对冠心病风险的日益重视, 心脏康复在冠心病治疗中的重要性逐步被人们所重视。临床上, 心脏康复是对患者疾病与功能进行全面的残疾评估后, 通过药物治疗、运动干预、心理干预、行为和社会活动指导, 缓解疾病症状, 改善心血管功能, 同时积极干预冠心病危险因素, 减少再次发作的危险^[8-9]。Meta分析显示, 死亡风险会随着心肺耐力的增加而降低^[10]。有研究显示以运动锻炼为辅助治疗的冠心病康复可以显著改善心脏功能和心血管健康相关的其他指标^[2]。稳定性心绞痛、冠状动脉旁路移植术、经皮冠状动脉介入治疗、各种原因导致的慢性心力衰竭、心脏瓣膜置换或修复术后以及心脏移植术后患者都可从有运动

干预的心脏康复项目中获益, 其全因死亡率和粗死因别死亡率均显著降低^[11-14]。有关心脏康复项目在北美和欧洲等发达国家早已开展, 美国、加拿大、德国等国家心脏康复体系已十分完善^[3,5,15-16]。相比之下, 中国的心脏康复事业起步较晚, 尚处于发展的初步阶段。

冠心病康复内容丰富, 主要由药物治疗、运动处方的运动疗法、心理干预、生活方式改变、职业及社会咨询等构成, 其中运动康复是冠心病康复的核心内容。Steven通过对110482名观察对象超过8年的随访发现, 偏少的身体活动是男性和女性患心血管疾病的重要风险因素, 增加身体活动可以减少心血管疾病和癌症的发病率^[17]。Franklin指出, 适量运动可以降低心血管疾病的相关风险因素, 是预防和治疗心血管疾病的有效途径^[18]。有氧运动作为运动康复的基础, 目前公认可以产生肌肉和外周动脉的适应性改变, 提高心血管工作效率, 改善心血管功能。1957年Eckstein提出了有氧训练有利于冠状动脉侧支循环形成的理论^[19]。冠心病的常规运动康复程序是对患者开展康复评

收稿日期: 2015-09-14

基金项目: 上海市人类运动能力开发与保障重点实验室(项目编号: 11DZ2261100)。

第一作者简介: 刘功亮, 男, 在读硕士研究生。主要研究方向: 心脏康复。E-mail: stlg12013@163.com。

* 通讯作者简介: 杨坚, 男, 主任医师, 硕士研究生导师。主要研究方向: 脑卒中康复、心脏康复。E-mail: dr.yj168@163.com。

作者单位: 1. 上海体育学院, 上海 200438; 2. 上海市徐汇区中心医院, 上海 200031。



估及危险分层后, 给予区分危险度后的个体化康复运动, 其中运动处方的制定是关键。早在 1979 年就有研究者提出建立合适的运动处方可以改善患者的有氧能力, 保障病人安全^[20]。而在运动处方的制定中, 运动强度的制定至关重要。如何准确客观地确定有氧运动强度成为冠心病康复运动处方的重要环节。本文综合了相关文献, 综述不同冠心病康复有氧运动强度设定方法的优势、局限性及其应用条件, 以期对冠心病患者进行有氧运动提供安全有效的强度设定方法, 促进心脏康复在国内的发展与推广。

1 冠心病康复有氧运动强度设定的常用指标

1.1 最大摄氧量与峰值摄氧量

单位时间内, 机体摄取并被实际消耗或利用的氧量称为摄氧量。最大摄氧量(the maximum oxygen uptake, VO_{2max})是指人体在极量运动时的最大摄氧能力, 代表了人体供氧能力的极限水平; 一旦达到机体的最大供氧能力, 即使增加运动负荷, 最大摄氧量也不增加, 摄氧曲线表现出明显的平台样改变。陈佩杰等指出, 测定运动强度最直接的方法就是以运动中耗氧量占最大摄氧量的百分比来衡量^[21]。

决定 VO_{2max} 中枢机制主要是心脏泵血功能; 外周机制是各组织细胞(主要是肌细胞)摄取与利用氧气的能力。对冠心病患者而言, 为提高有氧适能, 要求其最低强度应达到摄氧量储备的 45%^[22]。但由于心脏发生不同程度的功能性或器质性改变, 泵血能力显著下降; 加之患病后运动量减少, 肌细胞摄取利用氧的能力也有不同程度的降低, 冠心病患者往往难以耐受该强度, 在运动中试验并不会竭尽全力, 最大摄氧量极难测定。因此在设定冠心病患者有氧运动强度时, 多用峰值摄氧量 (peak oxygen uptake, peak VO_2) 替代 VO_{2max} 。

peak VO_2 在临床有较为广泛的应用。Colice 和 Brunelli 等的研究均证明 peak VO_2 超过 20 ml/kg/min 的病人在肺部切除手术前后患并发症或死亡的风险不会增加; 而 peak VO_2 低于 10 ml/kg/min 的病人则是患肺部感染等并发症的高风险人群^[23, 24]。Balady 等则报道在需要心脏移植的心衰病人中, peak VO_2 超过 14 ml/kg/min 病人的一年生存率高达 94%^[25]。peak VO_2 可反映冠心病患者运动测试中最后 30~60 s 的最高氧摄入量。由于受患者症状限制因素的影响较小, peak VO_2 在每次运动试验中均可获得。

1.2 心率

心率是运动处方中最常用的指标之一, 随代谢负荷的

增加呈线性增加。无论是在运动训练、体育健身还是在康复治疗中, 心率都是确定和监测运动强度的一项重要客观指标。Astrand 等研究发现, 心率和最大摄氧量百分比存在线性相关关系, 为心率监控有氧运动强度奠定了理论基础。当运动时循环系统机能处于最佳状态, 且又不因心跳加快而感到不适时的心率称为靶心率 (target heart rate, THR), 其范围一般是最大心率的 60%~80%。

THR 的测定方法分为直接测定和间接测定两类^[21]。直接测定是指通过运动负荷试验获取最大心率, 再乘以运动强度范围作为 THR。对冠心病患者而言, 直接测定方法往往需要进行患者多不能耐受的力竭性递增负荷试验; 同时, 患者在大强度运动测试中的心率还可受病理性因素(早搏、阵发性室上性心动过速等)的影响, 干扰最大心率的准确测定。实践中多用心率储备(heart rate reserve, HRR)间接测定靶心率。

1.3 无氧阈

无氧阈是指人体在递增运动负荷中, 有氧代谢供能开始转换成无氧代谢供能的临界点, 即尚未发生乳酸过量产生(无氧代谢)时的最高耗氧量, 常用血乳酸达到 4 mmol/l 时所对应的有氧运动强度表示。无氧阈可以更加敏感地反应机体供需平衡, 作为次极量运动指标, 无氧阈在评价心肺功能及心脏康复训练效果方面应用广泛。

人体可以较长时间耐受无氧阈以下负荷的运动, 而基本不产生不良影响, 这是应用无氧阈建立冠心病康复有氧运动处方的主要参考依据^[26]。研究者指出冠心病病人理想的安全运动强度是运动到无氧阈水平, 无氧阈水平相当于最大摄氧量的 60%左右, 是冠心病患者最佳的安全有氧运动强度^[18]。王集红等人的研究发现, 与正常组和慢阻肺组相比, 冠心病患者无氧阈出现时间最早, 公斤摄氧量和摄氧量均低于正常人^[27], 说明无氧阈可作为指导康复治疗的目标。

1.4 冠心病患者有氧运动强度设定常用指标的对比

冠心病患者由于自身疾病限制, 极难进行力竭性运动试验, 健康人群有氧运动强度设定常用的最大摄氧量、最大心率等指标, 对冠心病患者而言具有一定危险性和不确定性。无氧阈是有氧代谢和无氧代谢的转折点, 可用于评价健康人群有氧耐力水平。在冠心病康复中, 无氧阈水平附近的运动强度被认为是最佳的安全有氧运动强度。表 1 显示了冠心病患者有氧运动强度设定常用指标。

表 1 冠心病患者有氧运动强度设定常用指标测定对比

Table 1 Cross-reference of the Commonly-used Indicators in Determining Aerobic Exercise Intensity for Coronary Heart Disease Patients

指标	临床应用情况	测定方法	测定难度	测定准确性
最大摄氧量	基本不用	力竭性递增负荷试验	极难测得	
峰值摄氧量	较为常用	递增负荷试验, 不需力竭	每次均可测得	反映运动测试中最后 30~60s 的最高氧摄入量, 受患者症状限制因素的影响较小, 准确性较高
无氧阈	常用	递增负荷试验, 不需力竭	较易测得	冠心病患者最佳安全有氧运动强度
心率	常用	直接测定: 递增负荷试验 间接测定: 6 min 步行试验	易测得	受生理性和病理性因素影响大, 准确性欠佳



2 冠心病康复有氧运动强度设定常见方法

2.1 通过年龄推算

在康复医学有关的著作中,推荐使用的方法大多是“Jungmann”公式,即:“运动时的靶心率(次/分)=170(180)-年龄”^[28,29]。“Jungmann”公式是目前临床使用最简便的计算靶心率的公式,但对其适用范围存在不同的建议。如杨静宜、白贤玉等提出“一般中老年慢性病患者可用公式:170-年龄,或(195-年龄)×80%来推测运动强度”^[30]。而有研究者则认为公式中的常数170是用于“病后恢复期时间较短者,或病情有反复,体质较弱者。180用于已有一定锻炼基础,体质较好的康复病人和老年人”^[28]。

通过年龄推算靶心率的方法简便直观,不需要进行任何运动负荷试验,应用范围广泛。但冠心病患者由于病情和自身条件限制,仅考虑年龄因素确定的运动靶心率往往高于其能承受的运动强度,不能保证运动安全。临床上在应用该方法推算靶心率、制定运动处方时,一般会降低运动强度,避免锻炼对心脏造成过重负担,以防出现危险。

2.2 心率储备法

心率储备,即实测最大心率与静息心率之差。1957年,Kaevonen提出了“Kaevonen方程”,即靶心率=静息心率+心率储备×运动强度范围^[31]。其中最大心率一直以来都是应用公式“220-年龄”来推算,但美国运动医学会指出,该公式虽使用方便,但变化范围较大^[32]。Gellish等人通过研究,将最大心率的年龄推算公式调整为:最大心率=206.9-0.67×年龄^[33]。在冠心病康复中,通过年龄计算的最大心率与实际存在较大偏差,临床上多进行6min步行试验(6-minute walk test, 6MWT)来获取病人的最大心率。

6MWT是让患者在长30m的平坦、硬地中,以尽可能快的速度进行6min折返走,通过测量6min内快速步行的距离(6-minute walk distance, 6MWD)以及运动中最大心率,评价患者的运动反应,进而对其心血管系统进行整体分析^[34]。1968年,Cooper发现12min跑步试验(12-minute field performance test)与运动平板试验在评价最大摄氧量的结果上存在高度相关性($r=0.897$),从而首次提出12分钟跑步试验是评价人体心血管适能的客观方法^[35];1985年,Guyatt等正式提出了6MWT^[36];经过不断完善,6MWT从最初的评估慢性呼吸系统疾病转为评价心血管疾病患者活动能力,并在评价冠心病患者对治疗的反应及预后中得到推广。

与通过年龄推算最大心率不同,6MWT所测得的运动中最大心率(或症状限制心率)有一定客观性。有研究发现,6MWT的运动中最大心率与心肺运动试验中患者在功率自行车达到的最大功率有相关性^[37]。Tueller等人的研究显示,在261名患呼吸系统和心脏疾病的病人中,6MWT的测试结果与峰值摄氧量存在高度相关关系($r=0.82, P<0.001$)^[38]。另外,6MWD可独立作为一项评价冠心病康复效果的高效率指标^[39]。Larsen等报道心脏功能衰竭病人经过康复训练后平均6MWD增加了517m^[40];Redelmeier等人的研究证明6MWD增加70m被认为是有临床意义的^[41]。不同干预措施下,6MWD平均增加70~170m(12%~40%)已经被

报道^[42]。6MWD与峰值摄氧量的显著相关性在大量研究中都有发现,在慢性心衰^[43]和稳定性冠状动脉疾病^[44]中二者也有中度相关性。

作为一项亚极量运动试验,6MWT的优点主要有以下几点:一是步行是几乎所有人都要进行的一种活动。6MWT简单易行,仅需要30m的走廊而不需运动器械或对技术人员进行高级培训。二是6MWT评价了运动过程中所有系统全面完整的反应。区别于心肺运动试验重点强调运动中某一器官和系统功能的详细信息或运动受限的机制,步行是整体性的运动,可以评价包括肺、心血管系统、体循环、外周循环等系统的整体状态。三是6MWT可以反映完成日常体力活动所需的功能代偿能力水平。6MWT让受试者选择适合自己的运动强度并允许试验中停止步行和休息,虽然多数患者在试验中不能达到最大运动量,但日常生活中多数活动是在次极量运动水平完成的,因此与心肺运动试验相比,6MWT更能反映完成日常体力活动所需的功能代偿能力水平。

研究发现6MWT也存在一定的局限性。一、6MWT提供的关于运动受限机制的信息较少,因此不能用于疾病的诊断。二、由于6MWT是自定步调,有报道发现其测试结果会受到患者情绪、测试人员激励等主观因素的影响^[45]。三、虽然6MWD的变化是评价患者心肺功能和行走能力的一个敏感指标,但其对有良好的运动耐受能力的患者是否适用,尚有待论证。通过6MWT获取运动中最大心率,进而计算的运动目标心率与无氧阈强度的相关性和量化关系尚不明确。

2.3 平板运动试验

平板运动试验(treadmill exercise test, TET)又称运动负荷试验,是通过运动增加心脏负荷从而诱发心肌缺血,出现缺血性心电图改变的试验方法^[46]。TET是目前器械运动中引起心肌耗氧量最高的运动方式^[47],是用于无创检测冠心病心肌缺血的重要检查方法。国内外已有很多学者通过对比TET与冠脉造影、24h动态心电图等方法在冠心病诊断结果上的差异性和一致性,证明TET是一项高敏感性、高特异性和高准确性的冠心病诊断方法^[48-50]。在部分研究病例中,TET对诊断冠心病的敏感性甚至可以达到88.71%^[51]。

除了可以协助确诊冠心病,评估冠状动脉狭窄的严重程度外,TET在测定冠心病患者心脏功能和运动耐量,确定冠心病患者有氧运动强度也有较为广泛的应用。通过TET,可以获得冠心病患者运动中的最大氧耗量和最大心率,乘以安全系数后,便可以此作为运动目标强度,监测有氧运动。廖红英等通过TET为105例冠心病患者确定了运动靶强度,随访观察1年后,仅出现1例心肌梗死,8例恶性心律失常等严重心血管事件^[52]。郭玲等则使用TET为40例高血压病人确定运动强度,2年随访中,只有2例因血压控制不好而调整用药^[53]。

TET作为初筛冠心病最常用的检查方法,具有无创性、可重复性强等特点。其优点是运动中便可观察心电图的变化,运动量可按预计目标逐步增加。在外周动脉疾病中,相较于6MWT,TET是一项更好的功能性测试,其测试效能(effect size=1.01)要高于6MWT(effect size=0.70)^[54]。



但是,平板运动的能量消耗比步行和踏车运动大,对患者下肢功能也有更高要求。研究显示,由于动员了更多肌肉参与运动,平板运动的峰值耗氧量比踏车多 10%~15%^[55]。其次,TET 所设定有氧运动强度的准确性和安全性欠佳。临床 TET 以受试者达到预设运动强度或出现症状限制为试验终止标准,由于患者对极量或次极量运动的耐受性不一,加之临床 TET 不能有效监测患者运动中的氧摄入量 and 二氧化碳呼出量等气体指标,因此其所设定有氧运动强度有可能超过无氧阈水平,出现假阳性或假阴性结果,不能有效保证患者安全。

2.4 心肺运动试验

心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)是一项评价心肺储备功能和运动耐力的无创性检测方法^[56]。其主要原理^[57-59]是:通过呼吸面罩、气体收集装置和采样线,首先在静息状态下监测受试者呼吸参数,测定肺功能;运动负荷试验开始后,采集患者在运动中实时氧气摄入量 and 二氧化碳呼出量,气体监测主机将接受的气体吸入与呼出量传送到计算机进行数据处理,就可以计算出摄氧量、无氧阈、氧脉搏等参数。同时,通过佩戴十二导联心电图和袖带无创血压,测试人员可及时监测患者的全导联心电图和血压。通过对气体、心电图和血压的综合监测,测试人员可全面监测患者在运动中的身体机能,保障测试安全。

CPET 仪器有很多种,以德国 CORTEX 公司生产的 Metalyzer 3B 运动心肺功能测试仪机型为例,其采集方法采用每次呼吸测量法(Breath by Breath,一口气法),流量传感器为 Triple V 数字式传感器,测量范围 0.05~20 l/s,通气量 300 l/m,误差仅为 2%。通过电化学氧传感器和非分散性红外线技术(NDIR)二氧化碳传感器收集运动中的氧摄入量和二氧化碳排出量,误差均小于 0.1 Vol%,高采样频率和低误差保证了测试的精确性。

CPET 可以更精确地判断冠状动脉病变程度和预后,在为冠心病患者制定合理的有氧运动处方和安全的日常生活活动能力范围等方面有重要意义。用于制定有氧运动处方、监测运动强度的生理性指标见表 2。

表 2 CPET 中用于制定有氧运动处方、监测运动强度的生理和运动学指标

Table II Physiologic and Kinematic Indexes for Formulating Aerobic Exercise Prescription and Monitoring Exercise Intensity in CPET

	生理指标	性能指标
绝对强度	通气无氧阈时摄氧量	无氧通气时功率
	通气无氧阈时心率	
	临界功率时摄氧量	临界功率
	临界功率时心率	
	峰值摄氧量	峰值功率
相对强度	峰值摄氧量时心率	
	通气无氧阈时摄氧量储备百分比	
	通气无氧阈时心率储备百分比	
	临界功率时摄氧量储备百分比	
	临界功率时心率储备百分比	

与 NYHA 分级、血流动力学指标等相比,通过 CPET

测得 peak VO₂ 等指标可以更客观地评价冠心病患者的机能,这在冠心病严重程度分级、有氧运动处方的制定等方面有很大的应用价值。无氧阈与摄氧量和临床症状存在相关性,以无氧阈为临界点,在达到无氧阈之前,心脏射血分数会随着运动负荷的递增而增加;而达到无氧阈之后,心脏射血分数则会随着运动负荷的继续增加而降低。基于无氧阈水平运动强度的有效性和可耐受性,通过 CPET 获取无氧阈进而确定有氧运动强度的方法,被认为是冠心病患者有氧运动强度设定的“金标准”^[61-63]。

相比于 6MWT 和 TET,CPET 具有以下优势。第一,它可以保障患者安全,评价有氧运动的安全性。CPET 在功率自行车上以缓慢而渐进的速度运动,运动时间一般为 8~12 min,运动过程中有心电图、血压及气体代谢与肺功能监测,并根据患者自觉症状及监测指标停止运动。美国胸腔协会和美国胸科医师协会(the American Thoracic Society and the American College of Chest Physicians, ATS/ACCP)发表的 CEPT 联合声明曾指出:CEPT 试验过程中病人的死亡风险仅介于 2~5/10 万^[64]。第二,可以通过危险分级以确定监护强度。进行 CPET 前,医生根据患者的体力活动能力、NYHA 心功能分级,以及相关医疗信息和既往运动试验情况等选择运动负荷和运动方案。第三,可以评价心血管系统及肺脏对运动的耐受性,制定精确的个体化的有氧运动处方。

CPET 也存在一定局限性。首先,CPET 对实验环境的湿度、温度有一定的要求。以德国 CORTEX Metalyzer 3B 运动心肺功能测试仪为例,其对测试环境的要求严格,具体为:温度,-10~+35° C;压力:500~1 050 mbar;湿度:0~99%。同时,为保证采集的精确性,在每次测试前均要进行气体参数校准。第二,与 6MWT 不同,进行 CPET 需要对操作人员进行高级培训。医生或治疗师必须经过专业培训,根据患者情况,准确地选择运动开始负荷和递增负荷强度,否则可能会导致乳酸的过早堆积,或者无意义的延长测试时间,引起疲劳。操作人员还需掌握心肺复苏等急救技能,具备处理紧急情况的能力。第三,CPET 需要的设备昂贵,测试成本高。对硬件的高要求和专业人员的相对缺乏,使以 CPET 为基础的无氧阈法只适合在医院、专业的大型康复机构开展,很难深入到社区康复组织和家庭。

3 小结与展望

冠心病患者最佳的安全运动强度是在无氧阈值附近。冠心病康复有氧运动强度的几种设定方法各具优点和局限性。通过年龄推算靶心率的方法无需进行运动试验,但其纳入因素单一,具体应用条件和信效度还需进一步论证。6MWT 实施便捷,可操作性强,但通过 6MWT 获取运动中最大心率,进而计算的运动靶强度与无氧阈强度的相关性和量化关系尚不明确。TET 是冠心病初筛的最常用方法,但其缺少对肺功能的监测,所设定运动强度的准确性和安全性欠佳。通过 CPET 测定无氧阈,进而确定有氧运动强度的方法,被认定为“金标准”,但 CPET 需要特定测试环境,对操作人员要求高,设备昂贵,故在基层难以普及。

在冠心病患者与日剧增的情况下,如何积极开展冠心



病康复项目,使之覆盖到社区乃至家庭,从根本上改善冠心病患者的生活状态和生活质量,应是每个医务工作者不可忽视的问题。为使心脏康复深入社区和家庭,未来进一步开展明确 6MWT 与 CPET 所设定运动强度的相关性和量化关系的研究十分重要。随着信息技术的发展,智能手机和穿戴设备在健康管理的应用越来越广泛。同时,互联网科技的不断发展也为进行冠心病康复综合管理提供了新思路^[65]。相信随着心脏康复在我国的不断发展和普及,冠心病康复的专业化和科技化程度会越来越高,康复训练方案和运动处方的制定也会越来越成熟。

参考文献:

- [1] Lopez A, Mathers C, Ezzati M, et al. Global Burden of Disease and Risk Factors [M]. Washington DC, USA: World Health Organisation, 2006:10.
- [2] Anderson L, Taylor RS. Cardiac rehabilitation for people with heart disease: an overview of Cochrane systematic reviews. [EB/OL]. Cochrane Database of Systematic Reviews 2014, Issue 12. Art. No.: CD011273. DOI: 10.1002/14651858.CD011273.pub2. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD011273.pub2/abstract>.
- [3] Sherry L. Grace, Stephanie Bennett, Chris I. Ardern, et al. Cardiac Rehabilitation Series: Canada [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2014, 56 (5):530-535.
- [4] Nichols M, Townsend N, Scarborough P, et al. Cardiovascular disease in Europe 2014: epidemiological update [J]. European Heart Journal, 2014, 35:2929-2933.
- [5] Reed Humphrey, Marco Guazzi, Josef Niebauer. Cardiac Rehabilitation in Europe [J]. Progress in Cardiovascular Diseases, 2014, 56(5):551-556.
- [6] 王文,朱曼璐,王拥军,等.《中国心血管病报告 2012》概要[J]. 中国循环志,2013,28(6):408-412.
- [7] Andrew Moran, Dongfeng Gu, Dong Zhao et al. Future cardiovascular disease in China: Markov model and risk factor scenario projections from the Coronary Heart Disease Policy Model-China [J]. Circulation: Cardiovascular Quality and Outcomes, 2010, 3(3): 243-252.
- [8] 李政颖.运动疗法在冠心病康复中的作用观察[J].中国疗养医学.2010,19(10):884-885.
- [9] Hamm L F, Wenger N K, Arena R, et al. Cardiac Rehabilitation and Cardiovascular Disability: role in assessment and improving functional capacity, a position statement from the American Association of Cardiovascular and Pulmonary rehabilitation [J]. Journal of Cardiopulmonary rehabilitation and Prevention, 2013, 33(1): 1-11.
- [10] Kodama S, Saito K, Tanaka S, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in health men and women [J]. JAMA, 2009, 301: 2024-2035.
- [11] Hammill BG, Curtis LH, Schulman KA, et al. Relationship between cardiac rehabilitation and long-term risks of death and myocardial infarction among elderly Medicare beneficiaries [J]. Circulation, 2010, 121: 63-70.
- [12] Goel K, Lennon RJ, Tilbury RT, et al. Impact of cardiac rehabilitation on mortality and cardiovascular events after percutaneous coronary intervention in the community [J]. Circulation, 2011, 123: 2344-2352.
- [13] Austin J, Williams R, Ross L, et al. Randomised controlled trial of cardiac rehabilitation in elderly patients with heart failure [J]. The European Journal of Heart Failure, 2005, 7:411-417.
- [14] O'Connor CM, Whellan DJ, Lee KL, et al. Efficacy and safety of exercise training in patients with chronic heart failure: HF-ACTION Randomized Controlled Trial [J]. JAMA, 2009, 301: 1439-1450.
- [15] Phillip J Tully, Gary A Wittert, Deborah A Turnbull et al. Panic disorder and incident coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis protocol [J]. Syst Rev. 2015, 4(1):33.
- [16] Karoff M, Held K, Bjarnason-Wehrens B. Cardiac rehabilitation in Germany [J]. European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation, 2007, 14(1):18-27.
- [17] Steven N. Blair, Harold W. Kohl, Ralph S. Paffenbarger Jr. et al. Physical fitness and all-mortality: A prospective study of healthy men and women [J]. JAMA, 1989, 262:2395-2401.
- [18] Barry A. Franklin. Preventing exercise-related cardiovascular events is a medical examination more urgent for physical activity or inactivity? [J]. Circulation, 2014, 129(10):1081-1084.
- [19] Richard W. Eckstein. Effect of exercise and coronary artery narrowing on coronary collateral circulation [J]. Circulation Research, 1957, 5:230-235.
- [20] Kavanagh T, Shephard RJ, Chisholm AW, et al. Prognostic indexes for patients with ischemic heart disease enrolled in an exercise-centered rehabilitation program [J]. American Journal of Cardiology, 1979, 44(7):1230-40.
- [21] 陈佩杰,王人卫.健康体适能评定理论与方法[M].上海:上海教育出版社,2013:117, 136-137.
- [22] Swain DP, Franklin BA. Is there a threshold intensity for aerobic training in cardiac patients? [J]. Med Sci Sports Exercise 2002, 34:1071-1075.
- [23] Colice GL, Shapiro MF, Griffin JP, et al. The Physiologic evaluation of the patient with lung cancer being considered for resectional surgery [J]. Chest, 2007, 132:161S-177S.
- [24] Brunelli A, Belardinelli R, Refai M, et al. Peak oxygen consumption during cardiopulmonary exercise test improves risk stratification in candidates to major lung resection [J]. Chest, 2009, 135:1260-1267.
- [25] Balady G, Arena R, Sietsema KE, et al. Clinician's guide to cardiopulmonary exercise testing in adults. A scientific statement from the American Heart Association [J]. Circulation 2010,122: 191-225.
- [26] 宁亮,孙兴国.心肺运动试验在医学领域的临床应用[J].中国全科医学,2013,16(11):3898-3902.
- [27] 王集红,季玉珍,刘宇,等.运动负荷气体交换法在老年人心肺功能状况评价中的应用[J].中国康复医学杂志,2003,18(3): 161-163.
- [28] 周士枋,范振华主编.实用康复医学[M].南京:东南大学出版社,1990:122.
- [29] 刘纪清,张锦明,陆明.自我保健运动良方[M].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,2000:63.



- [30] 杨静宜,白贤玉.中老年体育工作者心脏康复运动处方[J].中国康复医学杂志,1988,3(6):245-248.
- [31] Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate: a longitudinal study [J]. *Ann Med Exp Biol Fenn*, 1957,35(3):307-315
- [32] 王正珍.ACSM 运动测试与运动处方指南(第8版)[M].北京:人民卫生出版社,2013:191.
- [33] Gellish RL, Goslin BR, Cameron PA, et al. Longitudinal modeling of the relationship between age and maximal heart rate [J]. *Med Sci Sport Exer*, 2007, 39 (5):822-829.
- [34] Li AM, Yin J, Yu CC, et al. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity [J]. *Eur Respir J*. 2005, 25(6): 1057-60.
- [35] Cooper KH. A means of assessing maximal oxygen intake. Correlation between field and treadmill testing [J]. *JAMA*, 1968, 203:201-204.
- [36] Guyatt GH, Sullivan MJ, Thompson PJ, et al. The 6-minute walk: a new measure of exercise capacity in patients with chronic heart failure [J]. *Can Med Assoc J*, 1985, 132: 919-923.
- [37] Kristjansdottir A, Ragnarsdottir M, Einarsson M, et al.. A comparison of the 6-minute walk test and symptom limited graded exercise test for phase II cardiac rehabilitation of older adults, [J]. *J Geriatr Phys Ther*, 2004, 27:65-8.
- [38] Tueller C, Kern L, Azzola A, et al. Six minute walk test enhanced by mobile telemetric cardiopulmonary monitoring [J]. *Respiration* 2010, 80:410-418.
- [39] Hamilton DM, Haennel RG. Validity and reliability of the 6-minute walk test in a cardiac rehabilitation population [J]. *J Cardiopulm Rehabil*, 2000, 20(3): 156-164.
- [40] Larsen AI, Aarsland T, Kristiansen M, et al. Assessing the effect of exercise training in men with heart failure: comparison of maximal, submaximal and endurance exercise protocols [J]. *European Heart Journal*, 2001, 22:684-692.
- [41] Redelmeier DA, Bayoumi AM, Goldstein RS, et al. Interpreting small differences in functional status: The Six Minute Walk test in chronic lung disease patients [J]. *Am J Respir Crit Care Med*. 1997, 155:1278-1282.
- [42] Jónsdóttir S, Andersen KK, Sigurosson AF, et al. The effect of physical training in chronic heart failure [J]. *Eur J Heart Fail*, 2006, 8:97-101.
- [43] ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test [J]. *Am J Respir Crit Care Med* 2002, 166: 111-117.
- [44] Gayda M, Temfemo A, Choquet D, et al. Cardiorespiratory requirements and reproducibility of the six-minute walk test in elderly patients with coronary artery disease [J]. *Arch Phys Med Rehabil* 2004, 85:1538-1543.
- [45] Zugck C, Kürger C, Dürr S, et al. Is the 6-minute walk test a reliable substitute for peak oxygen up take in patients with dilated cardiomyopathy? [J]. *Eur Heart J*, 2000, 21(7):540- 549.
- [46] 黄佐贵,杜国伟,殷波.活动平板运动试验与冠状动脉造影结果对照分析[J].中华实用诊断与治疗杂志,2010,24(5):462-464.
- [47] 郝玲,卢喜烈.再论平板运动试验[J].心电图学杂志,2009,28(5): 352-357.
- [48] 童开妙,李莹.平板运动试验在冠心病诊断中的价值[J].现代实用医学,2011,1(23):53-54, 82.
- [49] 侯艳杰.运动平板试验与动态心电图在老年冠心病诊断中的价值[J].中国老年学杂志,2013,4(33):1508-1509.
- [50] Julie Dunagan, Jenny Adams, Dunlei Cheng, et al. Development and evaluation of a treadmill-based exercise tolerance test in cardiac rehabilitation [J]. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 2013, 26 (3):247-251.
- [51] 张翼,练海东.冠心病中心电图活动平板运动试验的诊断应用[J].中国医疗前沿,2011,6(19):81,96.
- [52] 廖红英,罗刚,袁文金.运动平板实验在冠心病患者康复训练中的意义研究[J].临床合理用药,2012,5(12C):17.
- [53] 郭玲,叶君明,李晓梅.运动平板实验在血压控制中的运用[J].中国使用医药,2012,7(15):239.
- [54] William R. Hiatt, R. Kevin Rogers, Eric P. Brass. The Treadmill Is a Better Functional Test Than the 6-Minute Walk Test in Therapeutic Trials of Patients With Peripheral Artery Disease [J]. *Circulation*. 2014,130:69-78.
- [55] Viviane M Conraads, Paul J Beckers. Exercise training in heart failure:practical guidance [J]. *Heart* 2010,96:2025-2031.
- [56] McElroy PA, Janicki JS, Weber KT. Cardiopulmonary exercise testing in congestive heart failure [J]. *American Journal of Cardiology*, 1988, 62: 35A- 40A.
- [57] 孙兴国.生命整体调控新理论体系与心肺运动试验[J].医学与哲学:人文社会医学版,2013,34(3)22-27.
- [58] 谭晓越,孙兴国.从心肺运动的应用价值看医学整体整合的需求[J].医学与哲学:人文社会医学版,2013,34(3): 28-31.
- [59] Wasserman K, Hansen J, Sue D, et al. Principles of exercise testing and interpretation [M]. 5th Edition. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011:194-234.
- [60] Alessandro Mezzani, Piergiuseppe Agostoni, Alain Cohen-Solal et al. Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation [J]. *European Journal of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation* .2009, 16(3), 250-267.
- [61] Viviane M Conraads, Paul J Beckers. Exercise training in heart failure: practical guidance. [J]. *Heart*, 2010, 96:2025-2031.
- [62] Crescimanno G, Modica R, Lo Mauro R et al. Role of the cardio-pulmonary exercise test and six-minute walking test in the evaluation of exercise performance in patients with late-onset Pompe disease. [J]. *Neuromuscular Disorders*, 2015,(25)7:542-547.
- [63] Datta D, Normandin E, ZuWallack R. Cardiopulmonary exercise testing in the assessment of exertional dyspnea. [J]. *Ann Thorac Med*. 2015,10(2):77-86.
- [64] ATS/ACCP Joint Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing. ATS/ACCP Statement on Cardiopulmonary Exercise Testing [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2003,167: 211 - 277.
- [65] Lis Neubeck, Nicole Lowres, Emelia J. Benjamin et al. The mobile revolution—using smartphone apps to prevent cardiovascular disease [J].*Nature Reviews Cardiology*, 2015,12:350-360.