

心肺运动试验与冠心病康复

代薇¹, 杨祖福^{1,2}

[摘要] 心肺运动试验作为一种无创的检测手段, 由于能有效地测定运动强度, 用以指导冠心病患者运动处方的制定、心脏康复的指导及其药物临床疗效的评价等, 结果客观可靠, 且能重复检测, 故在冠心病康复领域具有较好的应用前景。

[关键词] 心肺运动试验; 冠心病; 康复; 综述

Cardiopulmonary Exercise Testing and Rehabilitation of Coronary Artery Diseases (review) DAI Wei, YANG Zu-fu. Capital Medical University School of Rehabilitation Medicine, China Rehabilitation Research Centre, Beijing 100068, China

Abstract: As a harmless detecting measurement, cardiopulmonary exercise testing (CPET) can effectively assess exercise strength. So it can conduct to write out an exercise prescription, direct heart rehabilitation and evaluate the clinical effects of medications. The results of CPET are reliable, and it can be performed repetitively. Therefore, CPET has better prospects in coronary artery diseases rehabilitation.

Key words: cardiopulmonary exercise testing; coronary artery diseases; rehabilitation; review

[中图分类号] R541.4 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-9771(2010)10-0947-03

[本文著录格式] 代薇, 杨祖福. 心肺运动试验与冠心病康复[J]. 中国康复理论与实践, 2010, 16(10): 947—949.

近年来, 随着经济的发展和水平的提高, 国民的平均寿命延长, 心血管疾病的发病率明显提高并成为威胁人类健康的主要疾病之一。由于许多新疗法如急性心肌梗死的溶栓治疗、经皮冠状动脉腔内成形术(percutaneous transluminal coronary angioplasty, PTCA)及冠状动脉旁路搭桥术(coronary artery bypass graft, CABG)等的广泛应用, 越来越多的冠心病患者得以幸存。而人们对这类疾病已不再单单满足于症状的缓解, 而是要求全面提高健康水平和生活质量, 预防和减少发生率和死亡率。有研究表明, 康复训练可促进缺血心肌侧支循环的建立, 增强心脏功能, 提高冠状动脉储备功能和患者的运动能力^[1-3]。因此, 目前针对心血管系统的康复训练(简称“心脏康复”)已成为冠心病患者的常规治疗手段之一^[4]。

心肺运动试验(cardiopulmonary exercise testing, CPET)是一种评价心肺储备功能和运动耐力的无创性检测方法, 它综合应用呼吸气体监测技术、电子计算机和活动平板(或功率自行车)技术, 实时检测在不同负荷条件下机体氧耗量和 CO₂ 排出量的动态变化, 从而客观、定量地评价心肺储备功能和运动耐力^[5]。目的是根据心脏负荷试验中获得的心脏电活动和血流动力学参数, 更精确、全面地来判断冠状动脉病变的程度和预后, 制定合理的运动处方和安全的日常生活活动能力范围, 评价康复运动效果, 用以指导患者的临床医学处理, 故在冠心病运动康复领域具有重要意义。

1 心肺运动试验发展简史

CPET 始于 20 世纪 50 年代, 但早期研究多侧重于肺部疾患运动心肺功能特点的探讨。1975 年呼吸疾病学者 Wasserman 曾提出, 单独给心脏或肺脏增加负荷是不可能的, 所有的

运动均需要心肺的协调, 以及周围循环与肺循环的协调作用来完成生存和工作所需要的气体交换作用。1982 年 Weber 等报道 CPET 应用于慢性心力衰竭患者心肺功能测定的经验, 1990 年 Wasserman 等提出应用运动气体代谢指标建立康复方案及其在康复进程中监测作用的重要性。近 20 余年来, 随着技术的进步、运动生理科学研究的发展以及临床评估综合运动反应的增加, CPET 的应用范畴得到极大拓展^[6-7]。其能够任意选用或改变负荷功率和时间, 连续测定呼出气中的 O₂ 和 CO₂, 且响应时间极短(每秒读数达 200 次), 故可实时连续地测定、记录、储存和分析各项生理参数。目前 CPET 已经应用到临床心脏病学、呼吸病学、烧伤病学、重症监护、外科手术等的预后和器官移植生存能力的评估以及康复医学运动处方个体化制订、运动医学和劳动力评估的诊断等医学领域。

2 心肺运动试验的生理基础

O₂ 和 CO₂ 的转运是呼吸系统和循环系统在中枢神经系统的调节下协同完成的, 称之为运动心肺耦联。人体运动过程的实质是在神经系统的调控下, 由心肺耦联转运 O₂ 和 CO₂ 所介导的不同供能系统和肌群参与的活动。运动能力的大小取决于运动心肺耦联中的每一个环节, 即肺通气、气体交换、心血管功能以及所参与的肌肉等^[8]。

人体器官大部分都有很大的功能潜力即功能储备。在安静状态下, 即使客观上已经存在着轻度的或早期的功能障碍和调节异常, 由于功能代偿的缘故, 功能障碍和调节异常往往不易表现出来。在剧烈运动时, 机体内各组织、器官的血液重新分布, 运动肌肉的血流分布可占到心输出量 80%~90%, 以保证运动肌肉的血液供应和能量代谢的需要。研究表明, 运动可增加氧运输系统功能, 包括气体运输加速、气体交换加快和骨骼肌的利用氧能力增强等代谢能力。所以, 运动负荷试验可以从运动量受限制的因素、运动时出现的有关症状、运动过程反映出的模式特征以及连续监测的众多指标中检测出静息时不能发现的器官功能状态及身体工作能力。

作者单位: 1. 首都医科大学康复医学院, 北京市 100068; 2. 中国康复研究中心, 北京市 100068。作者简介: 代薇(1985-), 女, 河北辛集市人, 七年制硕士生, 主要研究方向: 心血管疾病临床与康复。通讯作者: 杨祖福。

CPET 正是基于上述生理机制,在特定负荷下对受试者的气体代谢和心脏功能作出整体的分析,从而能够有效评价受试者的心肺功能整体水平和运动能力^[9-10]。因此,心肺运动测试能更科学、更精确、更客观地评价患者个体的心肺功能。

3 心肺运动试验的常用参数

3.1 反映运动耐力以及心功能的参数

3.1.1 最大摄氧量(VO_2max) 又称最大有氧功率(maximal aerobic power),是指人体在进行有大肌肉群参加的力竭性运动过程中,当氧运输系统各个环节的储备都已被动员而达到本人最高水平时,人体在单位时间内所能摄取的最大氧量^[11]。自从 1923 年 Hill 提最大摄氧量概念后,生理学界已公认其为最准确可靠的反映心肺功能的重要指标^[12]。它的意义在于反映人体最大有氧代谢能力,反映心肺功能转运 O_2 和 CO_2 的能力(包括心排血量、血红蛋白、毛细血管密度等)、肌肉对 O_2 的吸收和利用能力(包括线粒体的多少、酶活性等)。一般正常值应大于预计值($\text{VO}_2\text{max pred}$)的 84%,也可以用最大千克摄氧量($\text{VO}_2\text{max/kg}$)表示,其正常值为 30~50 ml/min·kg。

关于 VO_2max 的标准,学术界观点比较统一,即指以下 4 项中至少有 3 项达标时的单位时间最大摄氧量^[8]:① $\text{HR} \geq 180$ 次/min;②呼吸商(respiratory quotient, RQ) ≥ 1.15 ;③运动负荷增加,而 VO_2 不再增加或稍有下降;④受试者主观感觉精疲力竭,虽经反复鼓励仍不能维持设定速率。

每分摄氧量(VO_2)与心率(HR)之比为氧脉搏(VO_2/HR)。氧脉搏也重要参数之一。

3.1.2 无氧阈(anaerobic threshold, AT) 是指人体在递增工作强度时,由有氧代谢供能开始转换成无氧代谢供能的临界点(转折点),即尚未发生乳酸性酸中毒时的最高 VO_2 ,正常应大于 VO_2max 的 40%以上。超过无氧阈后,如继续运动则只有通过无氧代谢提供能量。 VO_2 和无氧阈可以识别疾病的严重程度,预测最大心排血量,客观评价患者的功能容量,故用以标志心功能损害程度。 VO_2max 同时受心血储备功能及肌肉利用氧能力的影响,代表循环系统输送氧的能力,而运动耐力较多取决于肌肉线粒体用氧能力,与无氧阈关系较密切。

3.2 反映通气功能的指标 极量运动时的通气量(ventilation, VE)称为最大通气量(VE_{max})。安静时 VE 为 5~8 L/min,而 VE_{max} 可达 70~120 L/min。

呼吸储备(breathing reserve, BR)反映最大运动时呼吸储备能力,正常值为 (38 ± 22) L/min,或 20%~50%。 $\text{BR} = (\text{MVV} - \text{VE}_{\text{max}})$ 或 $(\text{MVV} - \text{VE}_{\text{max}})/\text{MVV}\%$,其中 MVV(minute ventilation volume, MVV)是指运动前的每分钟最大通气量。BR 降低是运动受限的因素之一。正常人最大运动时呼吸频率(RR)不超过 60 次/min。

3.3 反映换气功能的指标

3.3.1 CO_2 通气当量(VE/VCO_2) 正常状态下,随着运动强度的增加而增加,处于无氧阈时应 < 34 ,最大运动量时 < 36 。

3.3.2 生理死腔量与潮气量比率 往往随着运动量的增加而减少。正常比值为 < 0.28 (年龄 < 40)或 < 0.3 (年龄 > 40 岁);若增高,则提示存在通气血流比不匹配或有右向左分流。

3.3.3 肺泡与动脉氧分差 $[\text{P}_{(\text{A-a})}\text{O}_2]$:休息状态下, $\text{P}_{(\text{A-a})}\text{O}_2 < 10$ mmHg。其随运动量的增加而增加,但不超过 35 mmHg。

4 心肺运动试验在冠心病康复的应用

CPET 可无创检测冠心病患者的心肺功能。有研究报道^[13],无氧阈、 VO_2max 与最大氧脉搏值越低,病变累及的冠状动脉越多,左室功能越差。无氧阈因与 VO_2 和临床症状有很强的相关性,在达到无氧阈前,心脏射血分数随着运动功率的增加而增加;达到无氧阈后,心脏射血分数则随着运动功率的增加而明显降低。因此,能有效地测定运动强度并指导心脏病患者运动处方的制定。

4.1 心肌梗死的康复程序 早年的急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)患者曾被要求卧床 6~8 周。但近半个世纪以来 AMI 后的早期活动的益处被逐渐认识,早期运动康复能避免长期卧床的不利影响。1973 年 Wenger 等总结了住院期心脏康复方案,首先发表以运动疗法为基础的 AMI 康复程序,并得到美国心脏学会的肯定,这已被学界认为是心血管医学发展的里程碑。日本 1983 年曾制定急性心肌梗死(无并发症)患者的 4 周康复治疗程序,1993 年又进一步修定为 3 周和 2 周康复治疗程序。自上世纪 90 年代起,中国康复医学会心血管病专业委员会制订的“AMI 康复程序参考方案”已经连续修订 4 版,心脏康复在国内已逐渐受到重视。Goto 等^[14]观察 13685 例 AMI 患者,其中 21.0%患者进行运动康复治疗。结果表明,对于无严重并发症的 AMI 患者出院前在监护下进行运动功能评定是必要的,早期的运动康复训练是安全的。Sakuragi 等^[15]研究了大面积心肌梗死后心脏康复增进运动能力的强度和机制,并根据肌酸磷酸激酶水平的高低,将心肌梗死后参与心脏康复的 296 例患者分为两组。经多变量分析,发现运动能力的改善决定于年龄、运动能力的基线值,也决定于运动的间期、 VE/VCO_2 斜率值、左室舒张末压。表明大面积心肌梗死心脏康复后运动能力的改善,是由于逆转生理去适应作用和改善充血性心力衰竭的结果。

4.2 冠状动脉血管重建的疗效评价与术后康复 临床上 PTCA 用于治疗冠心病已有 20 余年的历史,给患者带来极大的益处。但是 PTCA 的主要缺陷是术后再狭窄率高,可占到总数的 30%~50%,虽然冠状动脉内支架的应用已使这一病变大大减少,但目前仍有 10%~20%再狭窄发生率。研究证实^[16],对 AMI 行 PTCA 支架术后无严重并发症患者实施合适的运动处方是安全可行的,且应推广早期运动处方,遵循个体化、循序渐进的原则。Klainman 等^[17]对成功施行 PTCA 的冠心病患者术后即进行 CPET。结果显示, VO_2 、 VO_2/HR 、无氧阈显著改善,但最大心率没有明显变化,表明冠状动脉血运的改善不仅使患者的心功能改善,而且还改善肺功能,提高运动能力,提示 CPET 是冠心病 PTCA 术后功能评价的一种有效的方法。近来,梅静等^[18]观察 300 例 AMI 无严重并发症患者 PTCA 支架术后的康复效果,显示早期康复运动可促进 AMI 患者 PTCA 支架术后早期体力恢复,提高患者生活质量,降低再狭窄、心血管事件发生率。

CABG 术后早期进行康复训练同样可改善冠状动脉血流,改善患者的身心状态,提高运动能力。Tsai 等^[19]对 CABG 术后患者进行观察,每周 3 次连续 3 个月(运动强度为最大心率的 60%~85%)的 CPET 试验组较对照组的静息心率显著降低、最大量运动后 1 min 心率恢复明显增加。

4.3 冠心病药物疗效的评估 CPET 可应用于药物的临床疗

效评价。由于其无创、可重复、结果客观可靠等特点,故可长期、动态观察药物的临床疗效。Kazuhiko 等^[20]观察西拉普利对 AMI 慢性期患者的运动耐力及儿茶酚胺、肾素-血管紧张素-醛固酮、心房钠尿肽的作用,结果显示西拉普利可以减轻 AMI 慢性期患者运动时的左心负荷。王浩彦等^[21]研究了选择性 β_1 受体阻滞剂对运动耐力的影响,结果显示选择性 β_1 阻滞剂通过抑制心率使氧气在体内运输受到抑制,从而使运动耐力减低。而 Yasuyo 等^[22]观察了 β 受体阻滞剂对心肺运动试验运动耐力的影响,所有患者均显示有益的结果,心力衰竭症状减轻,且 VO_2 、无氧阈及运动时间并无明显变化。

5 小结

冠心病患者可通过降低危险因素、改善生活方式和运动训练等综合方案达到心脏康复的目的^[23]。心脏康复的内容包括有处方的运动疗法、心理、营养、教育、职业及社会咨询等,其中运动疗法为其核心内容,而制定科学的运动处方则是心脏康复的重要环节。CPET 作为一种无创的检测手段,由于能有效的测定运动强度而用以指导冠心病患者运动处方的制定,指导 AMI 以及经皮冠状动脉介入治疗后的康复训练,评价药物的临床疗效等,且结果客观可靠,可重复检测,故在冠心病康复领域具有较好的应用前景。

【参考文献】

- [1] Ueshima K, Suzuki T, Nasu M, et al. Effects of exercise training on left ventricular function evaluated by the Tei index in patients with myocardial infarction[J]. *Circ J*, 2005, 69(5): 564—566.
- [2] Zdrengeha D, Predescu D, Ducasz E, et al. Results of a long-term training program after acute myocardial infarction [J]. *Rom J Intern Med*, 2004, 42(3): 513—519.
- [3] 张捷,胡晓舟,李振荣. 急性心肌梗死后康复运动患者的心脏功能评价[J]. *中国实验诊断学*, 2006, 11(10): 1266—1269.
- [4] 张宝慧. 心脏康复研究的最新进展[J]. *中国临床康复*, 2003, 7(1): 4—5.
- [5] McFlroy PA, Janicki J S, Weber KT. Cardiopulmonary exercise testing in congestive heart failure[J]. *Am J cardiol*, 1988, 62: 35A—40A.
- [6] Wassmar K, Beave WL. Exercise physiology in health and disease [J]. *Am Rev Respir Dis*, 1975, 112: 219—249.
- [7] 朱慧楠,霍勇,张岩. 心肺运动试验应用于冠心病康复领域的研究进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2009, 24(5): 470—471.
- [8] 曲绵域,于长隆. 实用运动医学[M]. 4 版. 北京:北京大学医学出版社, 2003: 117—119.
- [9] Albouaini K, Egred M, Alahmar A, et al. Cardiopulmonary exercise testing and its application [J]. *Postgrad Med J*, 2007, 83(5): 675—682.

- [10] Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, et al. Exercise standards for testing and training: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association[J]. *Am Heart Assoc*, 2001, 104(14): 1694—1740.
- [11] 王步标,黄超文. 体适能与健康[M]. 长沙:湖南科学技术出版社, 2003: 86—87.
- [12] 美国运动医学会. ACSM 体适能手册[M]. 台湾:九州图书文物有限公司, 2002: 36—37.
- [13] Winter UJ, Gitt A K, Blaum M. Cardiopulmonary capacity in patients with coronary heart disease[J]. *Z Kardiol*, 1994, 83: 73—82.
- [14] Goto Y, Sumida H, Ueshima K, et al. Safety and implementation of exercise testing and training after coronary stenting in patients with acute myocardial infarction[J]. *Circulation J*, 2002, 66: 930—936.
- [15] Sakuragi S, Takagi S, Suzuki S, et al. Patients with large myocardial infarction gain a greater improvement in exercise capacity after exercise training than those with small to medium infarction[J]. *Clin Cardiol*, 2003, 26(6): 280—286.
- [16] 朱国英. 冠心病患者治疗进展[J]. *中国循环杂志*, 2003, 18(5): 325—328.
- [17] Klainman E, Fink G, Lebzelter J, et al. Assessment of functional results after percutaneous transluminal coronary angioplasty by cardiopulmonary exercise test[J]. *Cardiology*, 1998, 89 (4): 257—262.
- [18] 梅静,郭晓萍,孙家安,等. 早期康复运动对急性心肌梗死 PTCA 支架术后康复及预防再狭窄的影响[J]. *解放军护理杂志*, 2009, 26(10A): 11—13.
- [19] Tsai SW, Lin YW, Wu SK. The effect of cardiac rehabilitation on recovery of heart rate over one minute after exercise in patients with coronary artery bypass graft surgery [J]. *Clin Rehabil*, 2005, 19: 843—849.
- [20] Kazuhiko T, Noriyuki S, Naohiko O, et al. Effects of cilazapril on exercise tolerance in the chronic phase of acute myocardial infarction[J]. *Jpn Circ J*, 1996, 60: 831—840.
- [21] 王浩彦,刘晓惠,柯以恕,等. 心肺运动试验的临床应用—选择性 β_1 受体阻滞剂对运动耐力的影响[J]. *现代康复*, 2001, 5(7): 32—37.
- [22] Yasuyo T, Kenji U, Ikuo C, et al. A new method using pulmonary gas-exchange kinetics to evaluate efficacy of β -blocking agents in patients with dilated cardiomyopathy[J]. *Chest*, 2003, 124: 954—961.
- [23] 帕斯凯(美). 临床心脏康复指导[M]. 天津:天津科技翻译出版公司, 2007: 35.

(收稿日期:2010-06-02 修回日期:2010-09-13)