

doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2018.03.029

View this article at: http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.2095-6959.2018.03.029

心肺运动试验在2型糖尿病患者心肺康复中的应用研究进展

孟晴¹ 综述 陈伟², 高民², 钱贞¹ 审校

(1. 徐州医科大学医学技术学院, 江苏 徐州 221000; 2. 徐州市中心医院康复医学科, 江苏 徐州 221000)

[摘要] 心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test, CPET)在评估患者运动能力、制定心肺康复运动处方、评价康复效果及预后预测等方面具有独特优势, 心肺康复在2型糖尿病二级预防中的作用越来越得到临床医师的重视。CPET在2型糖尿病患者心肺康复中的应用, 包括CPET的基础理论、评估糖尿病运动风险的必要性、应用于糖尿病运动评估的安全性、客观定量评估糖尿病整体功能、精准指导制定个体化运动处方、评定心肺运动康复治疗效果和预测预估2型糖尿病患者心肺功能, 可引起临床医师对2型糖尿病患者心肺康复, 更好地应用CPET指导2型糖尿病患者心肺运动康复及强调糖尿病患者整体健康管理。

[关键词] 2型糖尿病; 心肺运动试验; 心肺康复

Progress of cardiopulmonary exercise test in cardiopulmonary rehabilitation among patients with type 2 diabetes

MENG Qing¹, CHEN Wei², GAO Min², QIAN Zhen¹

(1. College of Medical Technology, Xuzhou Medical University, Xuzhou Jiangsu 221000; 2. Department of Rehabilitation Medicine, Center Hospital of Xuzhou, Xuzhou Jiangsu 221000, China)

Abstract The role of cardiopulmonary rehabilitation in secondary prevention in patients with type 2 diabetes is getting more and more attention from clinicians. Cardiopulmonary exercise test has a unique advantage in exercise capacity evaluation, exercise prescription formulation, exercise effect and prognosis evaluation. The progress of cardiopulmonary exercise test in cardiopulmonary rehabilitation among patients with type 2 diabetes, includes basic theory of cardiopulmonary exercise test, necessity of assessing the risk of exercise, safety of diabetes exercise assessment, objective and quantitative holistic function assessment, precise formulation of individualized exercise prescription, exercise rehabilitation efficacy evaluation, prognosis estimation. To cause the attention of cardiopulmonary rehabilitation in patients with type 2 diabetes, better apply cardiopulmonary exercise testing to guide cardiopulmonary exercise rehabilitation and emphasize the holistic health management.

Keywords type 2 diabetes; cardiopulmonary exercise test; cardiopulmonary rehabilitation

收稿日期 (Date of reception): 2017-11-10

通信作者 (Corresponding author): 陈伟, Email: chenwei2339@163.com

糖尿病是一组由遗传、环境和内分泌因素相互作用引起的以慢性高血糖为共同特征的代谢综合征^[1]。据国际糖尿病联盟^[2]统计, 2015年全球糖尿病的患者数达4.15亿, 约500万人因糖尿病死亡。心血管疾病是糖尿病的最主要并发症, 也是糖尿病患者最主要的死亡原因^[3], 应警惕糖尿病患者的血管安全事件^[4]。另外, 肺有丰富的血管系统及结缔组织, 极易受到高糖状态的影响, 主要存在通气功能和/或弥散功能障碍, 同时也是糖尿病患者微血管病变的靶器官之一^[5-6], 因此2型糖尿病患者的心肺康复刻不容缓。心肺运动试验(cardiopulmonary exercise test, CPET)运用整体整合生理学医学新理论体系对心肺运动期间循环、呼吸、血液、代谢等多系统功能的连续动态变化进行整合分析, 在临床上广泛应用于疾病的诊断、严重程度评估、治疗效果评价、预后预测及指导康复治疗等方面^[7]。目前, CPET被公认为是无创评价人体整体和心肺功能的金标准^[8], 广泛应用于心血管疾病和呼吸系统疾病, 但罕应用于2型糖尿病心肺运动康复的专科分析和专科应用中。

1 CPET 的基础理论

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, 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二氧化碳排出量的动态变化, 从而客观、定量地评价心肺储备功能和运动耐力^[9]。CPET强调运动时心肺功能的相互作用和气体交换作用, 强调外呼吸和细胞呼吸偶联^[10], 为客观定量评估人体功能性和健康管理提供依据。CPET可连续分析受试者从静息状态到运动状态下的摄氧量、二氧化碳排出量、心率、分钟通气量等指标及心电图改变, 是对心肺功能状态进行客观综合评价的唯一手段^[11]。CPET作为一种无创、灵敏度高、客观、定量、易重复的检测手段, 被广泛应用于临床。

2 CPET 评估 2 型糖尿病患者心肺康复风险的必要性

糖尿病相关的并发症如大血管病变、微血管病变及神经病变等会影响糖尿病患者心肺机能, 限制其体力活动, 并影响生活质量^[12]。开展2型糖

尿病患者的心肺康复是改善患者心肺残损和残障状态的可靠途径^[13], 对于控制病情发展、提高心肺功能、改善生活质量至关重要。但糖尿病患者心肺康复的量化实施困难, 其效果依赖于运动前的评估。CPET是心肺功能检测的金标准, 也是康复评定的主要仪器设备。在缺少CPET情况下便进行运动极可能会出现心肌梗死、严重心率失常、血流动力学紊乱等恶性事件。运用CPET及时发现低心肺适能并使其得到改善对糖尿病防治的临床工作尤为重要, 因此每年对糖尿病患者进行心肺运动风险评估十分必要^[14]。由于糖尿病患者特殊的运动危险性, 给予糖尿病患者CPET检测心肺功能、制定个体化运动方案、专业人员指导监督、避免运动意外发生有重大的临床意义。然而, CPET在我国还处于起步阶段, 2型糖尿病患者的心肺康复还未全面开展, 应用CPET推行系统全面的心肺康复还需要医务人员和患者的不懈努力。

3 CPET 在 2 型糖尿病患者心肺运动康复中的运用安全性

CPET本身就是一次高强度的运动, 糖尿病患者进行CPET和心肺康复训练过程中可能出现低血糖、晕倒、猝死等意外风险, 加上当前日益紧张的医患关系, 许多临床医师与糖尿病患者对其望而却步。美国运动医学会^[14]强调: 高危糖尿病患者应该在医务人员监督下进行递增运动负荷试验, 尤其是未来10年发生心脏疾病风险 $\geq 10\%$ 或想要开展较大强度运动项目($\geq 60\%$ 最大摄氧量、明显心率、呼吸加快)^[14-15]。血糖异常是糖尿病患者相比其他疾病患者更要关注的一个重要问题, 为预防运动诱发低血糖, 2型糖尿病患者于CPET前后及刚开始和修订运动计划时应进行谨慎的血糖监测^[16]。为规避系列风险, 根据中国2型糖尿病防治指南^[17], 当患者出现空腹血糖(fasting blood glucose, FBG) >16.8 mmol/L、反复低血糖或血糖波动较大、有糖尿病酮症酸中毒等急性代谢并发症、合并急性感染、增殖性视网膜病、严重肾病、严重心脑血管疾病等情况时禁止运动。随CPET临床应用的不断拓展, 国外的大样本研究^[18-19]已证实: CPET过程中发生严重并发症的风险约万分之一, CPET导致患者病死率小于两万分之一。因此在专业康复医师的指导下严格遵循现有标准及指南, 糖尿病患者CPET和心肺康复的风

险仍在可控范围内。

4 CPET 在 2 型糖尿病患者心肺运动康复中的应用

心肺耐力与糖尿病发病率密切相关, 是糖尿病患者死亡的独立危险因素之一, 因此 2 型糖尿病患者进行心肺耐力测定值得临床推广应用^[20]。CPET 是评价人体整体和心肺功能的无创的金标准^[21], 可根据试验过程中所获得的各项参数, 更加全面精确评估 2 型糖尿病患者整体功能状态及疾病严重程度, 为临床医师制定个体化运动处方提供重要参考依据, 亦可用于评价运动康复的疗效及预测预估 2 型糖尿病患者心肺功能等。

4.1 CPET 评估糖尿病患者整体功能状态的重要指标

心肺耐力是体质健康的核心要素^[22], 低心肺适能是许多慢性疾病的危险因素^[23]。CPET 是综合心肺及其调控, 特别强调心肺代谢功能客观定量的一体化联合整体功能测定, 其指标包括: 最大摄氧量(VO_{2max})、峰值摄氧量(VO_{2peak})、无氧阈(anaerobic threshold, AT)、氧脉搏(VO_2/HR)、通气量(minute ventilation, VE)、二氧化碳通气当量(minute ventilation/carbon dioxide production, VE/VCO_2)、呼气末二氧化碳分压(end-tidal carbon dioxide partial pressure, $PetCO_2$)、代谢当量(metabolic equivalent, MET)、血压、心率、心电图等。 VO_{2max} 是指人体在极量运动时单位时间内所能摄取的最大氧量, 是决定一个人运动能力和心肺适能的金标准^[24]。 VO_{2peak} 是指糖尿病等慢性疾病患者一般不容易达到 VO_{2max} , 故用 VO_{2peak} 代替 VO_{2max} 描述人群的心肺耐力。AT 是指在递增负荷运动中人体的供能由有氧代谢供能而转入由有氧代谢和无氧代谢共同供能的临界点或转折点。 VO_2/HR 是耗氧量与心率的比值, 是指每搏的氧耗量。MET 以安静坐位时的能量消耗为基础, $1 MET = VO_2 \times 3.5 \text{ mL}/(\text{kg} \cdot \text{min})$, 是各种活动时相对能量代谢水平的常用指标, 也是评价心肺功能和判断预后的常用指标。既往研究^[25-28]表明: 2 型糖尿病患者 AT 和 VO_{2peak} 等较正常人降低^[25-27], VO_{2peak} 较正常人下降 12%~15%^[28]。Francisco 等^[29]进行的一项随机对照研究表明: 糖尿病患者心肺适能和通气效率较对照组显著下降, CPET 指标体现在 AT 时的 VE/VO_2 , VE/VCO_2 增高, 最大运动负荷, 峰值心率和 VO_{2peak} , AT 降低。

4.2 CPET 精准制定 2 型糖尿病患者个体化运动处方

为提高 2 型糖尿病患者的运动效果, 需通过 CPET 更加全面评估心肺功能, 制定精准的个体化运动处方。运动处方有 4 个基本要素: 运动的形式、强度、时间及频率。有氧运动和抗阻力训练是糖尿病患者心肺康复运动方式的最佳选择^[30], 可对生理功能及体成分产生更加广泛和显著的影响^[31]。有氧运动能降低胰岛素抵抗, 增强骨骼肌胰岛素敏感性^[32], 改善内皮功能和大弹性动脉顺应性^[33], 提高 VO_{2max} 和相关的心肺适能^[34]。另外, 抗阻力训练在增加骨密度、肌肉力量、肌肉耐力、提高基础代谢率等方面更具优势^[35]。虽然有氧运动和抗阻力运动改进健康的机制不同, 但其对血糖控制、胰岛素敏感和心肺适能有相似的影响^[36]。运动强度是制定运动处方的核心内容。中国糖尿病运动治疗指南^[37]建议: 有氧运动合理的强度应该是其 VO_{2max} 的 40%~70%。在运动的起始阶段, 运动强度可从 VO_{2max} 的 50% 开始, 1 周后增加至 60%, 6 周后可逐渐增至 VO_{2max} 的 70%~80%。中老年糖尿病患者, 由于其并发症较多, 以 50%~60% VO_{2max} 的运动强度适宜。抗阻力训练开始可采用 50% 1 次最大重复次数 (1 repetition maximum, 1-RM), 并逐步增加至 75%~80% 1-RM^[38-39]。美国糖尿病运动指南^[40-41]鼓励 2 型糖尿病患者每周至少 3 d, 完成至少 150 min 中等强度运动 (达到最大心率的 50%~70%), 有氧运动每次至少 10 min 并贯穿整周; 每周应至少进行 2~3 d 中等强度至剧烈强度的抗阻力训练。2 型糖尿病患者通过心肺运动康复训练, 不但可以有效控制血糖、提高心肺功能, 而且通过长期运动训练, 还可改善生活方式, 形成良好的生活习惯, 这对广大糖尿病患者来说无疑是极佳的选择。

4.3 CPET 精准客观定量评估 2 型糖尿病患者心肺运动康复效果

CPET 过程中所获得的各项参数, 不仅可全面精确地评估 2 型糖尿病患者整体功能状态及疾病严重程度, 为临床医师制定个体化运动处方提供重要参考依据, 亦可用于评价运动康复的疗效及预测预估 2 型糖尿病患者心肺功能等。与传统心电图、超声心动图及静息肺功能相比, CPET 为整体评估心肺功能提供了更多的参数、更高的诊断精确度^[42]。王娟等^[43]的 Meta 分析研究显示: 2 型糖尿病患者进行心肺运动康复较对照组 VO_{2max} 值增加 16.1%, 运动干预时间越长, 干预效果越明显。

Sénéchal等^[44-45]也证实:2型糖尿病患者采用有氧与抗阻力训练结合的心肺运动康复,可显著提高肌肉量和 VO_{2max} ,且肌肉量的增长与 VO_{2max} 的提高呈显著正相关。Li等^[46]对2型糖尿病患者进行了12周的心肺运动康复,发现其可改善心肺运动功能,包括 VO_{2peak} 、运动时间、静息心率、运动峰值心率、恢复期心率等指标。

4.4 CPET 指标预测预估 2 型糖尿病患者心肺功能

心电图改变、运动后心率恢复和MET是评估2型糖尿病患者预后和疾病严重性的关键指标。Bhatia等^[47]对糖尿病患者进行运动负荷试验,结果显示:试验过程中心电图改变(至少2个导联心电图波示超过J点0.08 s出现ST段水平、下斜压低或缓慢上斜压低超过1 mm)、试验过程中血压下降反应[收缩压下降 >20 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),舒张压下降 >10 mmHg]、恢复阶段心电图改变(ST段水平、下斜压低或缓慢上斜压低)均属阳性反应,证实运动负荷试验对于早期发现糖尿病患者心肌缺血是一种有益的、特殊的、低成本的、无创的检查方法。Banthia等^[48]研究提示:2型糖尿病患者进行CPET于运动结束后1 min的恢复阶段时,会出现延迟的心率恢复。Cheng等^[49]研究2 333名糖尿病患者并随访约15年证实:心率恢复是糖尿病患者心血管疾病和全因病死率的独立预后指标,恢复期低的心率预示着更高风险的心血管疾病和全因病死率,运动结束后5 min的恢复期心率处于 <55 , $55\sim 66$, $67\sim 75$ 次/min时,心血管疾病和全因病死率的校正危险比分别为2.0, 1.5, 1.5 ($P<0.001$)。有学者认为MET与糖尿病患者预后有很大关系, >5 METs时有较好的预后^[50-51]。Cabelli等^[52]比较了MET对2型糖尿病患者的影响,当 <6 METs时发生异常心肌灌注显像、心肌梗死和心源性死亡等心血管疾病风险更高。除此之外,Ming等^[53]的研究中入选1 263名2型糖尿病患者,随访12年,结果显示:每增加1 METs,全因病死率风险降低5%。由此可见,心电图、恢复期心率、MET与心血管功能相关性较好,能够预估2型糖尿病患者心肺功能和死亡风险。

4.5 CPET 强调 2 型糖尿病整体健康管理方案

只有将全新整体观念下的循环呼吸代谢等与人体功能一体化调控理论紧密结合,在整体整合生理学医学理论体系的基础上开展运动康复,才能更好实现医学“转化”和“整合”,从而推动医学体系的发展^[54]。糖尿病不是单纯的血糖

升高,而是多系统多器官共同损害的疾病,因此治疗过程中应兼顾多系统多器官的整体康复。糖尿病治疗是一个整体过程,其中心肺康复作用至关重要,其可调整患者的负性情绪,提高运动系统、循环系统和呼吸系统的功能和相互联系,延缓患者器官的功能性退化,提高患者的生活质量,延长患者寿命。在糖尿病患者心肺康复治疗之前进行CPET测试,可精准客观定量评估患者心肺功能,规避运动风险,提高治疗效果。目前,2型糖尿病患者的康复强调一体化健康管理,不仅要合理应用降糖药物,更要求患者加强自我管理意识,纠正饮食和生活习惯规律,坚持适量运动,对自身进行科学管理。

5 结语

目前糖尿病心肺康复的实践仍未广泛开展,CPET在糖尿病运动处方制定中的实施还未成熟和普及。这可能与开展CPET和心肺康复需投入大量的人力物力,但其社会效益是长远而非立竿见影的,难以在全国范围内建成完善的康复体系有关。为更好运用CPET指导2型糖尿病患者心肺康复,笔者根据目前医疗环境,提出以下建议:1)开展糖尿病患者进行CPET和心肺康复的宣传教育,改变大多数患者仅用药物维持的治疗模式,普及心肺综合康复理念;2)建立更多的康复医院,开展心肺康复门诊及病房,引进CPET设备,培养更多的综合素质较高的心肺康复医师;3)将CPET和心肺康复纳入医保,减轻糖尿病患者的负担与压力,从政策上促进心肺康复事业的发展。虽然CPET在糖尿病心肺康复中的应用现状不容乐观,但已呈现出良好的发展态势。日后CPET在糖尿病领域定会有更好的应用前景和广阔的发展空间,糖尿病的心肺康复理念也能更加深入人心,在全社会得到重视和推广。

参考文献

1. 孙英冬,马凯. Ghrelin与肥胖、胰岛素抵抗和2型糖尿病的研究进展[J]. 中国糖尿病杂志, 2017, 25(7): 666-669.
SUN Yingdong, MA Kai. Research progress of Ghrelin and obesity, insulin resistance and type 2 diabetes mellitus[J]. Chinese Journal of Diabetes, 2017, 25(7): 666-669.
2. International Diabetes Federation. IDF diabetes Atlas. 7th ed[DB/OL]. 2017-03-16, <http://www.diabetesatlas.org>

3. Temporelli PL. Physical activity and cardiovascular health[J]. *G Ital Cardiol (Rome)*, 2016, 17(3): 176-180.
4. Mozaffarian D, Benjamin EJ, Go AS, et al. Heart disease and stroke statistics 2016 update: a report from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2016, 133(4): e38-e360.
5. Fuso L, Pitocco D, Condoluci C, et al. Decline of the lung function and quality of glycemic control in type 2 diabetes mellitus[J]. *Eur J Intern Med*, 2015, 26(4): 273-278.
6. Fontaine-Delaruelle C, Viart-Ferber C, Luyton C, et al. Lung function in patients with diabetes mellitus[J]. *Rev Pneumol Clin*, 2016, 72(1): 10-16.
7. 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*, 2013(5): 22-27.
SUN Xingguo. New theoretical system of holistic control and regulation for life and cardiopulmonary exercise testing[J]. *Medicine & Philosophy*, 2013(5): 22-27.
8. 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*, 2013(5): 28-31.
TAN Xiaoyue, SUN Xingguo. From clinical application of cardiopulmonary exercise testing to view the requirement for holistic integrative physiology and medicine[J]. *Medicine & Philosophy*, 2013(5): 28-31.
9. 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.
DAI Wei, YANG Zufu. Cardiopulmonary exercise testing and rehabilitation of coronary artery diseases (review)[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice*, 2010, 16(10): 947-949.
10. 孙兴国. 心肺运动试验在临床心血管病学中的应用价值和前景[J]. *中华心血管病杂志*, 2014, 42(4): 347-351.
SUN Xingguo. Value and prospect of cardiopulmonary exercise testing in clinical cardiovascular epidemiology application[J]. *Chinese Journal of Cardiology*, 2014, 42(4): 347-351.
11. 关怀敏, 罗明华. 心肺运动试验与心脏康复[J]. *中西医结合心血管病杂志(电子版)*, 2016, 4(18): 4-5.
GUAN Huaimin, LUO Minghua. Cardiopulmonary exercise testing and cardiac rehabilitation[J]. *Cardiovascular Disease Journal of Interested. Electronic*, 2016, 4(18): 4-5.
12. Morrato EH, Hill JO, Wyatt HR, et al. Physical activity in U.S. adults with diabetes and at risk for developing diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2007, 30(2): 203-209.
13. 陈文华. 前言——心肺康复治疗是改善心肺功能的可靠手段[J]. *实用老年医学*, 2013, 27(3): 179-180.
CHEN Wenhua. Introduction—cardiopulmonary rehabilitation treatment is a reliable means to improve cardiopulmonary function[J]. *Practical Geriatrics*, 2013, 27(3): 179-180.
14. Colberg SR, Albright AL, Blissmer BJ, et al. Exercise and type 2 diabetes: American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement Exercise and type 2 diabetes[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(12): 2282-2303.
15. Colberg SR, Sigal RJ, Fernhall B, et al. Exercise and type 2 diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement executive summary. *Diabetes Care*, 2010, 33(12): 2692-2696.
16. 美国运动医学学会. ACSM运动测试与运动处方指南[M]. 9版. 北京: 北京体育大学出版社, 2014: 277-279.
American College of Sports Medicine. ACSM guidelines for exercise testing and prescription by American College of Sports Medicine[M]. 9th ed. Beijing: Beijing Sport University Press, 2014: 277-279.
17. 江钟立. 运动疗法与糖尿病及肥胖症[J]. *中国临床康复*, 2004, 8(6): 1105-1107.
JIANG Zhongli. Relation of motortherapy with diabetes and obesity[J]. *Chinese Journal of Clinical Rehabilitation*, 2004, 8(6): 1105-1107.
18. Gordon NF, Kohl HW. Exercise testing and sudden cardiac death[J]. *J Cardiopulm Rehabil*, 1993, 13: 381-386.
19. Myers J, Arena R, Franklin B, et al. Recommendations for clinical exercise laboratories: a scientific statement from the American heart association[J]. *Circulation*, 2009, 119(24): 3144-3161.
20. Sui X, Hooker SP, Lee IM, et al. A prospective study of cardiorespiratory fitness and risk of type 2 diabetes in women[J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(3): 550-555.
21. Mudge GH, Goldstein S, Addonizio LJ, et al. 24th Bethesda conference: cardiac transplantation. Task force 3: recipient guidelines/prioritization[J]. *J Am Coll Cardiol*, 1993, 22(1): 21-31.
22. 谢敏豪, 李红娟, 王正珍, 等. 心肺耐力: 体质健康的核心要素——以美国有氧中心纵向研究为例[J]. *北京体育大学学报*, 2011, 34(2): 1-7.
XIE Minhao, LI Hongjuan, WANG Zhengzhen, et al. Cardiorespiratory fitness: a core component of health-related physical fitness—introduction to the Aerobics Center Longitudinal Study[J]. *Journal of Beijing University of Physical Education*, 2011, 34(2): 1-7.
23. Holtermann A, Marott JL, Gyntelberg F, et al. Self-reported cardiorespiratory fitness: prediction and classification of risk of cardiovascular disease mortality and longevity—a prospective investigation in the Copenhagen City Heart Study[J]. *J Am Heart Assoc*, 2015, 4(1): e001495.
24. Smith AC, Saunders DH, Mead G. Cardiorespiratory fitness after stroke: a systematic review[J]. *Int J Stroke*, 2012, 7(6): 499-510.
25. Benbassat CA, Stern E, Kramer M, et al. Pulmonary function in patients with diabetes mellitus[J]. *Am J Med Sci*, 2001, 322(3): 127-132.
26. Brassard P, Ferland A, Bogaty P, et al. Influence of glycemic control on pulmonary function and heart rate in response to exercise

- in subjects with type 2 diabetes mellitus[J]. *Metabolism*, 2006, 55(11): 1532-1537.
27. Baldi JC, Aoina JL, Oxenham HC, et al. Reduced exercise arteriovenous O₂ difference in type 2 diabetes[J]. *J Appl Physiol*, 2003, 94(3): 1033-1038.
28. Green S, Egaña M, Baldi JC, et al. Cardiovascular control during exercise in type 2 diabetes mellitus[J]. *J Diabetes Res*, 2015, 2015: 654204.
29. Francisco CO, Catai AM, Moura-Tonello SC, et al. Cardiorespiratory fitness, pulmonary function and C-reactive protein levels in nonsmoking individuals with diabetes[J]. *Braz J Med Biol Res*, 2014, 47(5): 426-431.
30. American Diabetes Association. Diabetes mellitus and exercise[J]. *Diabetes Care*, 2002, 25 (Suppl 1): S64-S68.
31. Burich R, Teljigović S, Boyle E, et al. Aerobic training alone or combined with strength training affects fitness in elderly: randomized trial[J]. *Eur J Sport Sci*, 2015, 15(8): 773-783.
32. 牛燕媚, 张珊, 王天怡, 等. Sestrins与骨骼肌细胞自噬——有氧运动改善胰岛素抵抗机制研究新进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2016, 35(2): 181-183.
- NIU Yanmei, ZHANG Shan, WANG Tianyi, et al. Sestrins and skeletal muscle cell autophagy—new progresses in aerobic exercise improving the mechanism of insulin resistance[J]. *Chinese Journal of Sports Medicine*, 2016, 35(2): 181-183.
33. DeVan AE, Seals DR. Vascular health in the ageing athlete[J]. *Exp Physiol*, 2012, 97(3): 305-310.
34. Liu Y, Liu SX, Cai Y, et al. Effects of combined aerobic and resistance training on the glycolipid metabolism and inflammation levels in type 2 diabetes mellitus[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(7): 2365-2371
35. Socha M, Fraczak P, Jonak W, et al. Effect of resistance training with elements of stretching on body composition and quality of life in postmenopausal women[J]. *Prz Menopauzalny*, 2016, 15(1): 26-31.
36. Armstrong MJ, Colberg SR, Sigal RJ. Moving beyond cardio: the value of resistance training, balance training, and other forms of exercise in the management of diabetes[J]. *Diabetes Spectr*, 2015, 28(1): 14-23.
37. Kang J, Robertson RJ, Hagberg JM, et al. Effects of exercise intensity on glucose and insulin metabolism in obese individuals and obese NIDDM patients[J]. *Diabetes Care*, 1996, 19(4): 341-349.
38. Sigal RJ, Kenny GP, Wasserman DH, et al. Physical activity/exercise and type 2 diabetes: a consensus statement from the American Diabetes Association[J]. *Diabetes Care*, 2006, 29(6): 1433-1438.
39. Dunstan DW, Daly RM, Owen N, et al. Home-based resistance training is not sufficient to maintain improved glycemic control following supervised training in older individuals with type 2 diabetes[J]. *Diabetes Care*, 2005, 28(1): 3-9.
40. 刘莉莉, 孙子林. 中美糖尿病运动指南对比[J]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2013, 4(5): 12-14.
- LIU Lili, SUN Zilin. A comparison of exercise guidelines for diabetes mellitus between China and America[J]. *Chinese Journal of the Frontiers of Medical Science. Electronic Version*, 2013, 5(5): 12-14.
41. Dugan JA. Exercise recommendations for patients with type 2 diabetes[J]. *JAAPA*, 2016, 29(1): 13-18.
42. 朱颖莹, 陈晓亮. 心肺运动试验在心血管疾病患者中的应用价值和前景[J]. *心电与循环*, 2017, 36(4): 271-274.
- ZHU Yingying, CHEN Xiaoliang. Value and prospect of cardiopulmonary exercise testing in patients with cardiovascular disease[J]. *Journal of Electrocardiology*, 2017, 36(4): 271-274.
43. 王娟, 张献博, 王正珍. 规律运动对糖尿病患者心肺耐力的影响——Meta分析[J]. *北京体育大学学报*, 2013(3): 50-56.
- WANG Juan, ZHANG Xianbo, WANG Zhengzhen. Effect of regular exercise training on cardiorespiratory fitness in diabetes mellitus—Meta-analysis[J]. *Journal of Beijing University of Physical Education*, 2013(3): 50-56.
44. Sénéchal M, Johannsen NM, Swift DL, et al. Association between changes in muscle quality with exercise training and changes in cardiorespiratory fitness measures in individuals with type 2 diabetes mellitus: results from the HART-D Study[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0135057.
45. 冯蕾, 周素珍, 赵占胜, 等. 循环运动训练对2型糖尿病妇女心肺适能及血流介导的血管舒张功能的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2017, 32(6): 680-685.
- FENG Lei, ZHOU Suzhen, ZHAO Zhansheng, et al. Effects of cyclic exercise training on cardiorespiratory fitness and blood flow mediated vasodilation in women with type 2 diabetes mellitus[J]. *Chinese Journal of Rehabilitation Medicine*, 2017, 32(6): 680-685.
46. Jin L, Min G, Wei C, et al. Exercise training on chronotropic response and exercise capacity in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *Exp Ther Med*, 2017, 13(3): 899-904.
47. Bhatia LC, Singal R, Jain P, et al. Detection of silent myocardial ischaemia in asymptomatic diabetic patients during treadmill exercise testing[J]. *High Blood Press Cardiovasc Prev*, 2012, 19(3): 137-142.
48. Banthia S, Bergner DW, Chicos AB, et al. Detection of cardiovascular autonomic neuropathy using exercise testing in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. *J Diabetes Complications*, 2013, 27(1): 64-69.
49. Cheng YJ, Lauer MS, Earnest CP, et al. Heart rate recovery following maximal exercise testing as a predictor of cardiovascular disease and all-cause mortality in men with diabetes[J]. *Diabetes care*, 2003, 26(7): 2052-2057.
50. Padala SK, Ghatak A, Padala S, et al. Cardiovascular risk stratification in diabetic patients following stress single photon emission-computed tomography myocardial perfusion imaging: the impact of achieved exercise level[J]. *J Nucl Cardiol*, 2014, 21(6): 1132-1143.

51. Moe B, Eilertsen E, Nilsen TI. The combined effect of leisure-time physical activity and diabetes on cardiovascular mortality: the Nord-Trøndelag Health (HUNT) cohort study, Norway[J]. *Diabetes Care*, 2013, 36(3): 690-695.
52. Caobelli F, Haaf P, Chronis J, et al. Prognostic usefulness of cardiac stress test modalities in patients with type 2 diabetes mellitus who underwent myocardial perfusion scintigraphy (from the Basel Asymptomatic High-Risk Diabetics' Outcome Trial)[J]. *Am J Cardiol*, 2017, 120(7): 1098-1103.
53. Wei M, Gibbons LW, Kampert JB, et al. Low cardiorespiratory fitness and physical inactivity as predictors of mortality in men with type 2 diabetes[J]. *Ann Intern Med*, 2000, 132(8): 605-611.
54. 孙兴国. 整体整合生理学医学新理论体系概论Ⅲ: 呼吸循环代谢一体化调控环路中神经体液作用模式[J]. *中国应用生理学杂志*, 2015, 31(4): 308-315.
- SUN Xingguo. New theory of holistic integrative physiology and medicine 111: new insight of neurohumoral mechanism and pattern of control and regulation for core axe of respiration, circulation and metabolism[J]. *Chinese Journal of Applied Physiology*, 2015, 31(4): 308-315.

本文引用: 孟晴, 陈伟, 高民, 钱贞. 心肺运动试验在2型糖尿病患者心肺康复中的应用研究进展[J]. *临床与病理杂志*, 2018, 38(3): 634-640. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2018.03.029

Cite this article as: MENG Qing, CHEN Wei, GAO Min, QIAN Zhen. Progress of cardiopulmonary exercise test in cardiopulmonary rehabilitation among patients with type 2 diabete[J]. *Journal of Clinical and Pathological Research*, 2018, 38(3): 634-640. doi: 10.3978/j.issn.2095-6959.2018.03.029