

# 心肺运动试验在不同类型心衰中的研究进展

孙薇<sup>1</sup> 孟庆兰<sup>2\*</sup>

1 承德医学院 2 河北省沧州市人民医院医专肿瘤院区

DOI:10.12238/bmtr.v6i4.8486

**[摘要]** 心力衰竭是各种心血管疾病的最终归宿,是目前全球范围内主要健康问题之一,心肺运动试验是目前广泛应用的一种无创检查方法,可通过对运动状态下外呼吸与内呼吸的异常,来评估肺、心血管、骨骼肌的一种无创方法,是目前评估运动耐量的“金标准”,现就心肺运动试验在不同类型心力衰竭患者中的研究进展做一综述。

**[关键词]** 心肺运动试验; 心力衰竭; 射血分数降低性心力衰竭; 射血分数中间型心力衰竭; 射血分数保留性心力衰竭

中图分类号: R541.6+1 文献标识码: A

## Research progress of cardiopulmonary exercise test in different types of heart failure

Wei Sun<sup>1</sup> Qinglan Meng<sup>2\*</sup>

1 Chengde Medical College 2 Cangzhou City People's Hospital, Cangzhou City

**[Abstract]** Heart failure is the ultimate destination of various cardiovascular diseases, is currently one of the major health problems worldwide, cardiopulmonary exercise test is currently widely used a non-invasive examination method, through the abnormal external breathing and internal breathing under exercise, to evaluate the lung, cardiovascular, skeletal muscle a non-invasive method, is the current assessment of exercise tolerance "gold standard". Now on the cardiopulmonary exercise test in different types of heart failure patients clinical application and progress of a review.

**[Key words]** cardiopulmonary exercise test; heart failure; heart failure with reduced ejection fraction; heart failure with intermediate ejection fraction; heart failure with preserved ejection fraction

### 引言

心力衰竭是一种复杂的临床综合征,其定义包含三个方面:

(1)心脏结构和(或)功能异常导致心室充盈(舒张功能)和(或)射血能力(收缩功能)受损;(2)产生相应的心衰相关的临床症状和(或)体征;(3)心室充盈压的升高,作为血流动力学检查的显著指标,往往与利钠肽水平的增加相伴随,同时,影像学分析也不容忽视,它能揭示心源性因素在肺部乃至全身淤血中的作用。这些发现,共同构成了客观证据的基础,指明了心源性影响的存在<sup>[1-4]</sup>。

随着经济和社会的进步,人们的生活习惯发生了变化,特别是随着人口老龄化和城市化进程加快,不健康的生活习惯变得越来越普遍,这些习惯导致心血管疾病的风险因素对公众健康的影响日益严重,心血管病发病率仍在上升。近几年流行病学资料显示,全球成人心衰患病率为1%~3%<sup>[5]</sup>。我国心衰标准化患病率为1.1%(男性、女性均为1.1%),每年新发心衰300万<sup>[6]</sup>。鉴于心力衰竭对公共卫生构成的重大挑战,2020年我国心衰患者住院总开支已达144.61亿元<sup>[7]</sup>,凸显出采取紧急且有效的早期防

治策略,以遏制病情进展并减少患者重复住院的紧迫性与重要性。

依据2021年欧洲心脏病学会的分类指南,心力衰竭被细致区分为三大类别:HFpEF,其特征为左心室射血分数不低于50%<sup>[8]</sup>;HFmrEF,定义为左室射血分数介于41%至49%之间;以及HFrEF,涉及左室射血分数≤40%的情形。这三种心力衰竭表型,在临床表征、生理病理机制、干预策略效果及长期预后等方面,均展现出各自的独特性与差异。

心肺运动试验(CPET),被誉为无创评估运动耐受度的“黄金标准”<sup>[9]</sup>,通过施加梯度运动负荷,精密观测心肺系统对压力的响应,整合呼吸气体分析、尖端计算机处理及动态运动平台技术,实现实时捕捉各强度下氧耗、二氧化碳产生、通气量与心电血压动态波动,为心脏、肺部、肌肉效能及能量代谢等多个系统提供综合评判。近年来,CPET在临床实践中不断拓展,特别是在心力衰竭探究中应用日广,其凭借详尽生理参数描绘,指导个性化治疗路径规划,对优化患者预后展现出显著价值。本综述旨在探讨CPET在各型心力衰竭病例中的临床运用新进展与研究成果。

## 1 在不同类型心衰患者中心肺运动试验的研究进展

### 1.1 心肺运动试验在射血分数降低型心衰患者中的研究进展

早在上世纪八十年代初期,Weber等人开创性地运用峰值吸氧量界定了射血分数减低型心衰的机能等级,实现对患者运动状态下呼吸与代谢参数的精准量化,为心衰群体构建了客观的预后分层体系<sup>[10]</sup>。鉴于运动耐受性缺失乃心衰个体的突出标志,伴随体力活动受限与呼气窘迫,心肺运动试验通过量化最大摄氧量、无氧阈及呼吸商等关键参数,科学评价了HFrEF患者的运动耐量与心肺潜在功能。此试验对于澄清呼吸困难及体力衰退的根本原因至关重要,并且,经由Barron A, Francis DP等国际学者的对比分析,揭示出在鉴别心血管与呼吸道疾病中,氧效用斜率作为区分COPD与射血分数减少型心衰的关键指标,显示出了卓越的辨别力<sup>[11]</sup>。近期学术探索更进一步,借助机器学习的力量,综合分析多项CPET参数,不仅增强了诊断的精确度与特异性,还有效区分了心衰、COPD患者与健康对照组<sup>[12-13]</sup>。心肺运动试验(CPET)在评估HFrEF患者的预后中同样展现重要价值,研究资料证明,如最大摄氧量(VO<sub>2</sub>max)等CPET测量参数与患者预后的紧密联系,VO<sub>2</sub>max偏低常预警不良预后趋势<sup>[14-15]</sup>。hf-ACTION研究强调了峰值摄氧量、预计峰值摄氧量百分比及运动维持时长在预测HFrEF死亡风险上的高度敏感性<sup>[16]</sup>。另有研究指出,在此类患者群中,峰值每搏功指数作为动脉压与每搏功乘积,成为一年生存预测的强有力工具<sup>[17]</sup>。值得注意的是,Lin YS, Huang HY等人的回顾性工作揭示,即便对于无法完成极限运动测试的晚期心衰患者,摄氧效率斜率(OUES)依然能够有效评估其预后状况<sup>[18]</sup>。此外,CPET通过测定诸如VO<sub>2</sub>max、无氧阈值、最高心率及其储备、最大负荷等参数,不仅助力HFrEF患者的危险分层与临床诊断,还能依据个性化数据为他们定制运动康复方案,涵盖运动模式、强度级别、频次与持续时长,全面指导康复进程。

### 1.2 心肺运动试验在射血分数保留型心衰患者中的研究进展

在国内,射血分数保留型心力衰竭(HFpEF)占比逾越半数,尤其随着老龄化进程加速,其发病率呈上升趋势,且死亡率堪比射血分数减低型心衰<sup>[19]</sup>。当前,尽管CPET在心衰领域的研究侧重于HFrEF,但针对HFpEF的探索正随科技进步和社会发展而逐渐兴起,研究数量呈增长态势。近期,学者张振、张光芳等人的工作为此领域贡献了宝贵数据,他们通过对60例样本的分组研究(心衰组与对照组),借助心肺运动试验深度剖析两组间的气体代谢差异,研究揭示,与健康对照组相比,心衰组在峰值摄氧量、公斤体重校正的峰值摄氧量、最大功率输出、二氧化碳排放量、无氧阈值、氧脉搏、摄氧量与功率的斜率、以及摄氧效率斜率等多个指标上均呈现显著降低,而VE/VC0<sub>2</sub>斜率及无氧阈时的二氧化碳当量则有明显提升,这一系列发现为理解HFpEF的病理生理特征提供了新的视角。此外,运动引起的呼吸波动(EOV)、呼吸节律失常、氧脉搏平台现象及VO<sub>2</sub>增长率的减缓,被视作诊断射血分数保留型心力衰竭(HFpEF)的重要线索,凸显

了心肺运动试验在识别该类患者气体代谢异常中的作用,尤其是对那些临床症状不显著,其早期诊断意义显著,为现有的HFpEF诊断框架增添了有效补充<sup>[20]</sup>。刘琳、刁云辉等人的研究则深入探讨了CPET关键参数对非射血分数降低型心衰预后的评估潜力,确认了最大摄氧量在非HFrEF患者预后预测中的重要作用<sup>[21]</sup>。另有研究证据揭示,射血分数保留心衰患者中,VD/VT比例增加是VE/VC0<sub>2</sub>斜率升高的主因,且后者被证实对预测HFpEF患者的预后具有重要价值<sup>[22-23]</sup>。综观现有文献,尽管围绕HFpEF的CPET研究尚不充沛,但所有证据一致指向将其作为增强HFpEF早期识别与预后评估的高效工具的必要性和可行性。

### 1.3 心肺运动试验在射血分数中间型心衰患者中的研究进展

在2016年的ESC指南中,首次引入了一种新颖的心力衰竭分类——射血分数中间型心力衰竭,这一分类填补了射血分数减低型与保留型心力衰竭之间的认知空白。该类型独具特色,体现在可能存在轻度心肌收缩功能受损的同时,也展现了明显的舒张功能障碍特性<sup>[24]</sup>,2021年ESC指南又将该类型更名为射血分数轻度降低性心力衰竭<sup>[25]</sup>。这种类型心力衰竭其临床特征、病理特点等各个方面均表现出与另外两种类型不尽相同的地方,更多的是处于HFrEF和HFpEF之间<sup>[26]</sup>。国外学者Bhambhani V, Kizer JR等研究表明,HFmrEF死亡风险比HFpEF高,与HFrEF一致<sup>[27]</sup>。2019年,SaraRovai等人研究显示HFmrEF患者在随访18个月后开始出现EOV相关的存活率差异,这表明更长的随访时间,运动振荡通气可作为识别HFmrEF患者中高风险群体检测指标<sup>[28]</sup>。国外学者Takamasa Sato等人的研究中,发现在HFmrEF患者中,峰值摄氧量和摄氧效率斜率是心源性不良事件强力预测因子<sup>[29]</sup>,Nadruz W Jr等人研究中发现峰值摄氧量和二氧化碳通气当量斜率这两项指标,对于HFmrEF预后均具有独立的预测价值<sup>[30]</sup>。

## 2 小结与展望

当前研究与实践已广泛证实,心肺运动试验(CPET)在确定心力衰竭严重程度、前瞻性估计患者预后以及引导治疗策略形成等方面扮演着核心角色,提供了一系列有价值的评估指标。然而,针对这些检测指标在辨识不同系统疾病特征中的特异性差异探究,尚存不足,预示着未来CPET发展的关键方向之一在于深化此方面的科学研究。因此,促进CPET在临床实践与科研探索中的更深层次与广泛采纳,要求我们强化投入与努力。

### [参考文献]

- [1]中华医学会心血管病学分会心力衰竭学组,中国医师协会心力衰竭专业委员会,中华心血管病杂志编辑委员会.中国心力衰竭诊断和治疗指南2018[J].中华心力衰竭和心肌病杂志,2018,2(4):196-225.
- [2]McDonagh TA, Metra M, Adamo M, et al. 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure[J]. Eur Heart J, 2021, 42(36):3599-3726.
- [3]Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, et al. 2022AHA/ACC/

HFSA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines[J]. *J Am Coll Cardio*,2022,79(17):1757–1780.

[4]Bozkurt B,Coats AJS,Tsutsui H,etal.Universal definition and classification of heart failure: a report of the Heart Failure Society of America, Heart Failure Association of the European Society of Cardiology, Japanese Heart Failure Society and Writing Committee of the Universal Definition of Heart Failure: endorsed by the Canadian Heart Failure Society, Heart Failure Association of India,Cardiac Society of Australia and New Zealand, and Chinese Heart Failure Association[J]. *Eur J Heart Fail*,2021,23(3):352–380.

[5]Lampros P,Prabhjot G,Andreas PK.Epidemiology of Heart Failure[M]Kalogeropoulos AP,Skopicki HA,Butler J,et al. Heart Failure:An Essential Clinical Guide. 1st ed. Boca Raton:CRC Press,2022:244–253.

[6]Wang H,Chai K,Du M,et al. Prevalence and Incidence of Heart Failure Among Urban Patients in China:A National Population-Based Analysis[J]. *Circ Heart Fail*,2021,14(10):e008406.

[7]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2022概要[J]. *中国循环杂志*,2023,38(6):583–612.

[8]McDonagh Theresa A,Metra Marco,Adamo Marianna,et.al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure.[J]. *European heart journal*,2021,42(36):3599–3726.

[9]McFroy PA,Janicki JS,Weber KT.Cardiopulmonary exercise testing in congestive heart failure. *Am J Cardiol*, 1988,62:35A–40A.

[10]WEBERKT,KINASEWITZGT,JANICKIJS,etal.Oxygen utilization and ventilation during exercise in patients with chronic cardiac failure[J]. *Circulation*,1982,65(6):1213–1223.

[11]BARRONA,FRANCISDP,MAYET J,et al.Oxygen uptake efficiency slope and breathing reserve,not anaerobic threshold, discriminate between patients with cardiovascular disease over chronic obstructive pulmonary disease[J]. *JACC Heart Fail*, 2016,4(4):252–261.

[12]BROWN DE,SHARMA S,JABLONSKI JA,et al.Neural network methods for diagnosing patient conditions from cardiopulmonary exercise testing data. *BioDataMin*,2022,15(1):16.

[13]INBAR O,INBAR O,REUVENY R,et al. A machine learning approach to the interpretation of cardiopulmonary exercise tests:Development and validation. *PulmMed*,2021,2021:1–9.

[14]Arena R, Guazzi M,Myers J. Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing in heart failure. *Journal of the American College of Cardiology*,65(19),1981–1991.

[15]Myers J, Arena R,Lavie C J. Cardiopulmonary exercise testing:Classifying risk and guiding management of heart failure. *Circulation*,133(24),2492–2505.

[16]KETEYIAN S J,PATEL M,KRAUS W E,etal.Variables measured during cardiopulmonary exercise testing as predictors of mortality in chronic systolic heart failure[J]. *J Am Coll Cardio*,2016,67(7):780–789.

[17]Metra M,Faggiano P,D'Aloia A,et.al.Use of cardiopulmonary exercise testing with hemodynamic monitoring in the prognostic assessment of ambulatory patients with chronic heart failure[J]. *Am Coll Cardio*,1999,Mar15;33(4):943–950.

[18]LIN YS,HUANG HY,LIN WH,etal. Oxygen uptake efficiency slope predicts major cardiac events in patients with endstage heart failure[J]. *Transplant Proc*,2016,48(3):956–958.

[19]Owan TE,Hodge DO,Herges RM,etal. Trend in prevalence and outcome of heart failure with preserved ejection fraction[J]. *N Engl J Med*,2006,355:251–259.

[20]张振,张光芳,陈彦波,等.心肺运动试验用于射血分数保留心力衰竭患者的诊断价值研究[J]. *潍坊医学院学报*,2020,42(05):335–338.

[21]刘琳,刁云辉,李慧,等.峰值氧耗量对非射血分数减低的心力衰竭患者预后评估的价值[J]. *心肺血管病杂志*,2020,39(1):6–8.

[22]ITERSONEH V,JOHNSONBD,BORLAUGBA, et al. Physiologic dead space and arterial carbon dioxide contribution to exercise ventilator inefficiency in patients with reduced or preserve-dejection fraction heart failure[J]. *Eur J Heart Fail*, 2017,19(12):1675–1685.

[23]NADRUZWI, WESTE,SENGELOVM, et al. Prognostic value of cardiopulmonary exercise testing in heart failure with reduced,mid-range,and preserved ejection fraction[J]. *J Am Heart Assoc*,2017,6(11):e006000.

[24]Ponikowski Piotr,Voors Adriaan A,Anker Stefan D,et.al. 2016 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: The Task Force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the Heart Failure Association (HFA) of the ESC.[J]. *European journal of heart failure*,2016,18(8).

[25]McDonagh Theresa A,Metra Marco,Adamo Marianna,et.al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure.[J]. *European heart journal*,2021,42(36):3599–3726.

[26]Koh A S,Tay W T,Teng T H K,et al.A comprehensive population-based characterization of heart failure with mid-range ejection fraction[J]. *Eur J Heart Fail*,2017,19(12):

1624-1634.

[27]Bhambhani V,Kizer J R,Lima J a C,et al.Predictors and out-comes of heart failure with mid-range ejection fraction [J].Eur J Heart Fail,2018,20(4):651-659.

[28]Rovai S, Corrà U, Piepoli M, et.al; MECKI Score Research Group (see Appendix 1).Exercise oscillatory ventilation and prognosis in heart failure patients with reduced and mid-range ejection fraction[J]. European Journal of Heart Failure,2019,21(12):1586.

[29]Sato T, Yoshihisa A, Kanno Y, et al. Cardiopulmonary exercise testing as prognostic indicators: Comparisons among heart failure patients with reduced, mid-range and preserved ejection fraction[J].European Journal of Preventive Cardiol

ogy,2017:1979-1987.

[30]Nadruz Wilson,West Erin,Sengeløv Morten,Santos Mário, et.al.Prognostic Value of Cardiopulmonary Exercise Testing in Heart Failure With Reduced, Midrange, and Preserved Ejection Fraction.[J].Journal of the American Heart Association,2017, 6(11).

**作者简介：**

孙薇(1999--),女,汉族,中国河北省沧州市人,本科,硕士研究生在读,从事心血管疾病研究。

**通讯作者：**

孟庆兰(1979--),女,汉族,中国河北省沧州市人,硕士研究生,主任医师,心血管疾病研究。