

关于心肺运动试验在冠心病诊断中的临床研究

武 伟^{1*}, 李吉和^{1,2*}, 关爱丽^{1#}, 王伟明^{2#}

¹青岛大学青岛市市立医院心内科, 山东 青岛

²黑龙江省中医药科学院, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2024年12月24日; 录用日期: 2025年1月18日; 发布日期: 2025年1月30日

摘 要

背景与目的: 冠心病是一种严重危害人类健康的疾病。目前临床常用的诊断方法有平板运动、冠状动脉CT血管成像(CTA)、冠脉造影等, 其中冠脉造影是诊断金标准, 但却存在着有创等缺点。心肺运动试验作为一项无创、高效、安全的检测方法, 在冠心病的诊断中越来越受到重视。我们的研究旨在明确CPET相关指标与冠脉狭窄程度之间的关系。**方法:** 回顾性纳入2021年1月至2022年9月在青岛市立医院心脏中心冠脉造影(必要时行经皮冠状动脉支架植入术)前行心肺运动试验的患者共252例。根据冠状动脉造影结果及Gensini评分将患者分为低评分组(n=218)及高评分组(n=33), 记录并比较两组患者的基线资料及CPET相关指标。**结果:** 高评分组患者的男性、年龄、BMI、吸烟史、高血压史、糖尿病史、白细胞计数、中性粒细胞计数、血小板计数、BNP、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白以及D-二聚体水平均高于低评分组, 高密度脂蛋白水平低于低评分组, 差异均有统计学意义。高评分组患者的无氧阈公斤摄氧量、最大摄公斤摄氧量、无氧阈代谢当量、峰值代谢当量以及峰值氧脉搏均低于低评分组, 差异均有统计学意义。**结论:** CPET对于冠心病的诊断具有较高价值, 且相关指标可用于评估冠心病患者冠脉狭窄程度。

关键词

冠心病, 冠脉造影, 经皮冠状动脉支架植入术, Gensini积分, 心肺运动试验

Clinical Studies on the Cardiopulmonary Exercise Test in the Diagnosis of Coronary Heart Disease

Wei Wu^{1*}, Jihe Li^{1,2*}, Aili Guan^{1#}, Weiming Wang^{2#}

¹Department of Cardiology, Qingdao Municipal Hospital, Qingdao University, Qingdao Shandong

²Heilongjiang Academy of Traditional Chinese Medicine, Harbin Heilongjiang

*共同第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 武伟, 李吉和, 关爱丽, 王伟明. 关于心肺运动试验在冠心病诊断中的临床研究[J]. 临床医学进展, 2025, 15(1): 1992-1997 DOI: 10.12677/acm.2025.151265

Abstract

Background and Purpose: Coronary heart disease is a group of diseases that seriously endanger human health. The commonly used clinical diagnostic methods at present are platelet exercise, coronary CT angiography (CTA), coronary angiography, etc. Among them, coronary angiography is the diagnostic gold standard, but it has invasive and other shortcomings. Cardiopulmonary exercise test (CPET), as a non-invasive, efficient, and safe test, has been increasingly valued in the diagnosis of coronary artery disease. Our study aimed to clarify the relationship between CPET-related indexes and the degree of coronary stenosis. **Methods:** A total of 252 patients who underwent cardiopulmonary exercise testing before coronary angiography (percutaneous coronary stenting if necessary) at the Heart Centre of Qingdao Municipal Hospital from January 2021 to September 2022 were retrospectively included. Patients were divided into low-scoring group ($n = 218$) and high-scoring group ($n = 33$) according to coronary angiography results and Gensini score, the baseline data and CPET-related indexes of patients in the two groups were recorded and compared. **Results:** Male, age, BMI, smoking history, hypertension, diabetes mellitus, white blood cell count, neutrophil count, platelet count, BNP, triglyceride, total cholesterol, LDL, and D-dimer levels were higher in the high-scoring group than in the low-scoring group, and HDL levels were lower than in the low-scoring group, and the differences were statistically significant. The anaerobic threshold kilogram oxygen uptake, maximal kilogram oxygen uptake, anaerobic threshold metabolic equivalents, peak metabolic equivalents and peak oxygen pulse were lower in the high-scoring group than in the low-scoring group, and the differences were statistically significant. **Conclusions:** CPET is of high value for the diagnosis of coronary artery disease, and the related indexes can be used to assess the degree of coronary artery stenosis in patients with coronary artery disease.

Keywords

Coronary Heart Disease, Coronary Angiogram, Percutaneous Coronary Stenting, Gensini Score, Cardiopulmonary Exercise Test

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冠状动脉粥样硬化性心脏病指冠状动脉粥样硬化引起的血管狭窄或闭塞, 导致心肌缺血缺氧或坏死而引起的心脏病, 简称冠心病, 也称缺血性心脏病[1]。虽然医学的发展使得人类平均年龄较前显著延长, 但冠心病的发病率及死亡率仍居高不下[2]。明确诊断是冠心病治疗的必要条件, 目前常用的诊断方法有平板运动试验、冠状动脉 CTA 以及冠脉造影等, 其中冠脉造影仍为诊断冠心病的金标准[3]。尽管其在诊断准确性等方面具有极大的优势, 但也存在有创等缺点。冠脉 CTA 作为一项无创操作, 有花费低、耗时短、操作简便等优点, 但研究发现冠脉 CTA 检查后发生肾功能持续下降的发生率为 1.1%, 肾脏替代疗法的风险为 0.06% [4], 从而可能为患者肾脏功能留下不可逆损害。除此之外, 运动平板仅能监测患者心电图变化, 难以对患者心肺功能进行综合评估[5]。心肺运动试验最初被用来进行心衰患者的分级[6], 随着人们的不断探索, 发现其在心肌缺血的诊断中具有重要意义[7]。直至今日, 其已经发展为 PCI 术后心肺功能评价的重要途径[8]。然而, CPET 在冠脉狭窄程度的评估标准尚未明确。Gensini 评分标准在 1962

年首次由医生 Gensini GG 提出[9], 随后该评分被进一步开发并广泛应用到冠脉狭窄程度的评估中, 成为评估冠脉狭窄程度的客观方法之一[10][11]。因此, 我们根据该评分将冠脉狭窄程度进行量化和分组, 并进一步研究 CPET 相关指标与冠脉狭窄程度之间的关系。

2. 材料与方法

2.1. 患者

回顾性纳入 2021 年 1 月至 2022 年 9 月在青岛市立医院心脏中心冠脉造影(必要时行 PCI)前行运动心肺检查的患者共 252 例, 按照 Gensini 评分标准对患者的冠状动脉狭窄程度进行评分[9]-[11]。并根据评分结果, 按照三分位数将其分为 2 组: 评分 ≤ 45 的患者分为低评分组($n = 218$), 评分 ≥ 46 的患者, 则分为高评分组($n = 33$)。

纳入标准如下: a. 住院期间行心肺运动试验检查; b. 完成冠脉造影(必要时行 PCI)检查。

排除标准如下: a. 未完成心肺运动试验的患者; b. 未行冠脉造影(必要时行 PCI)检查; c. 存在严重器质性心脏病, 包括心脏瓣膜病(如中重度瓣膜狭窄, 中重度瓣膜返流), 心功能不全(EF 小于 40%), 先天性心脏病, 肥厚性梗阻型心肌病, 肺动脉高压(中重度)者; d. 存在肿瘤、血液系统疾病、严重肝肾功能不全者(转氨酶大于正常值上限 3 倍, 肌酐清除率小于 50 ml/min), 贫血(血色素小于 90 g/L)者; e. 正在参加其他临床研究者; f. 患有精神疾病者。患者均知情本研究内容并签署知情同意书。

2.2. 临床资料收集

青岛市市立医院电子医疗系统中检索 2021 年 1 月至 2022 年 9 月符合标准的所有患者的临床数据和实验室参数。

CPET 资料收集: 所有患者均在冠脉造影前根据 CPET 标准化流程, 在医生的监护下采用功率自行车递增功率方案行 CPET, 在运动过程中密切观察患者症状、血氧饱和度、心率、血压及心电图改变。负责医生根据美国心脏协会发布的运动标准生命对 CPET 结果进行解读, 并对患者后续运动进行指导。通过青岛市市立医院电子医疗系统回顾性纳入符合标准的患者 CPET 相关数据, 主要包括: 最大分钟通气量(L/min)、无氧阈公斤摄氧量(ml/min/kg)、最大摄公斤摄氧量(ml/min/kg)、无氧阈代谢当量、峰值代谢当量、无氧阈呼吸交换率、峰值呼吸交换率、峰值氧脉搏(ml/beat)。

冠脉造影结果资料收集: 所有患者均由专业的心内科介入医生使用数字减影血管造影机(DSA)完成多体位冠脉造影(必要时行 PCI), 回顾性纳入符合标准的患者冠脉造影数据, 并根据造影结果按照 Gensini 评分标准对患者冠脉狭窄的严重程度进行评分。

2.3. 统计方法

使用 SPSS 27.0 软件进行统计, 计量资料采用均数 $\pm$ 标准差进行描述, 成组资料之间参数的比较采用独立样本 t 检验或独立样本的非参数检验; 计数资料采用卡方检验进行比较。采用多元线性回归分析混杂因素的影响。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

3. 结果

3.1. 患者的基线特征

高分组患者的男性、年龄、BMI、吸烟史、高血压史、糖尿病史、白细胞计数、中性粒细胞计数、血小板计数、BNP、甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白以及 D-二聚体水平均高于低评分组, 高密度脂蛋白水平低于低评分组, 差异均有统计学意义(见表 1, $P < 0.05$)。

Table 1. Comparison of the general data of the two groups of patients**表 1.** 两组患者一般资料比较

	低评分组(n = 218)	高评分组(n = 33)
性别(男/女)	144/74	27/6*
年龄(岁)	60.42 ± 8.46	61.74 ± 8.78*
BMI (kg/m ²)	25.81 ± 3.22	25.58 ± 2.88
吸烟(是/否)	69/149	18/15**
饮酒(是/否)	57/161	10/23
高血压(是/否)	145/73	24/9**
糖尿病(是/否)	80/138	11/22*
房颤(是/否)	39/179	5/28
白细胞计数(10 ⁹ /L)	6.74 ± 1.32	7.38 ± 1.29*
中性粒细胞计数(10 ⁹ /L)	3.75 ± 0.48	4.06 ± 0.67*
血小板计数(10 ⁹ /L)	260.74 ± 27.74	271.33 ± 26.49*
BNP (pg/mL)	1653.49 ± 201.27	1925.18 ± 189.95**
肌酐(μmol/L)	83.09 ± 14.11	84.69 ± 15.78
尿酸	415.95 ± 48.53	414.73 ± 54.88
甘油三酯(mmol/L)	1.61 ± 0.32	1.85 ± 0.47**
总胆固醇(mmol/L)	5.22 ± 0.84	5.91 ± 0.75*
高密度脂蛋白(mmol/L)	1.05 ± 0.17	0.89 ± 0.23*
低密度脂蛋白(mmol/L)	3.02 ± 0.63	3.67 ± 0.68**
D-二聚体	0.74 ± 0.19	0.92 ± 0.17*

注: *与低评分组相比 $P < 0.01$; **与低评分组相比 $P < 0.001$ 。 $P < 0.05$ 表示具有统计学意义。

3.2. 患者 CPET 相关指标比较

Table 2. Comparison of cardiopulmonary related indexes of the two groups**表 2.** 两组患者运动心肺相关指标比较

	低评分组(n = 218)	高评分组(n = 33)
最大分钟通气量(L/min)	50.30 ± 16.47	44.25 ± 15.15
无氧阈公斤摄氧量(ml/min/kg)	10.74 ± 2.44	9.22 ± 1.71**
最大摄公斤摄氧量(ml/min/kg)	16.59 ± 3.81	14.36 ± 3.20**
无氧阈代谢当量	3.06 ± 0.69	2.64 ± 0.48**
峰值代谢当量	4.73 ± 1.09	4.11 ± 0.92**
无氧阈呼吸交换率	0.95 ± 0.07	0.97 ± 0.07
峰值呼吸交换率	1.17 ± 0.13	1.16 ± 0.13
峰值氧脉搏(ml/beat)	10.29 ± 1.98	9.7 ± 2.41*

注: *与低评分组相比 $P < 0.01$; **与低评分组相比 $P < 0.001$ 。 $P < 0.05$ 表示具有统计学意义。

高评分组患者的无氧阈公斤摄氧量、最大摄公斤摄氧量、无氧阈代谢当量、峰值代谢当量以及峰值氧脉搏均低于低评分组, 差异均有统计学意义(见表 2, $P < 0.05$)。其余指标无统计学意义。我们通过多元线性回归分析, 排除了高血压、糖尿病、房颤这些可能影响 CPET 结果的混杂因素对实验结果的影响。

4. 讨论

冠心病作为我国居民的主要死亡原因之一, 可导致恶性心率失常、心肌梗死、心力衰竭等不良预后, 其治疗及预后已经成为人们较为关注的话题[12]-[14]。既往研究表明, 冠心病的危险因素包括: 年龄、性别、吸烟、高血压、糖尿病以及家族史等[15]。这与我们高分组患者的男性、年龄、BMI、吸烟史、高血压史、糖尿病史水平均高于低评分组的研究结果一致。Jung E 等人的研究表明, 高水平的低密度脂蛋白与冠心病的死亡风险增加相关[16]。此外, 高水平的胆固醇及甘油三酯以及低水平的高密度脂蛋白与冠心病的发病风险显著相关[17]-[19]。这与我们高分组患者有更高水平的甘油三酯、总胆固醇、低密度脂蛋白以更低水平的高密度脂蛋白结果相符。近期研究显示, 炎症和内皮功能障碍在冠心病的发生发展中起重要作用[15], 且白细胞计数是冠心病的独立危险因素[20]。我们对基线资料的研究显示, 白细胞计数、中性粒细胞计数、血小板计数在高分组均较高与其相符。

心肺运动试验作为一种无创、客观、定量的检查方法, 已在临床广泛应用[21] [22]。在测试受试者静息心肺参数后, 受试者在功率自行车上进行运动, 测量受试者运动过程中气体交换情况及心肺参数, 通过测量摄氧量、无氧阈来分析运动受限原因。研究表明 CPET 在不明原因呼吸困难的诊断方面, 心衰、肺疾病的预后评估方面, 外科手术术前评估方面, 发挥着重要的临床应用价值[8] [23]。每公斤体重摄氧量(V_{O_2}/Kg): 摄氧量的个体差异很大, 受年龄、性别、遗传、运动训练习惯和不同疾病状态的影响, 因而通过每公斤体重摄氧量矫正体重因素影响, 能更加准确反映不同个体的心肺储备功能。代谢当量: 是心脏康复中重要的指标, 是指机体在 1 分钟内做 1 千克功时所提供的摄氧量, 可用于心功能的分级及运动强度判断, 峰值代谢当量是指患者进行最大运动量时的能量代谢水平, 无氧阈代谢当量是指患者运动达无氧阈时的能量代谢水平。峰值氧脉搏: 是指心脏每次射血所携带的氧气量, 随心脏每搏输出量以及动静脉血氧含量差而变化。研究表明运动中氧脉搏的值与心肌缺血程度相关。我们关于运动心肺相关指标的研究表明, 峰值氧脉搏与在冠脉狭窄程度的评估中也有着重要作用。陈菲等人的研究与我们一致[24]。除此之外, 我们还发现无氧阈公斤摄氧量、最大摄公斤摄氧量、无氧阈代谢当量以及峰值代谢当量在评估冠脉狭窄程度中有重要作用。这与既往研究结果一致[25] [26]。当然, 本研究存在一定的局限性: 我们的研究是一项单中心回顾性研究, 纳入病例数量有限, 尤其是高分组病例偏少, 这可能会导致偏倚, 需要行多中心、大样本、前瞻性研究来进一步验证。在选择患者时排除了不能耐受 CPET 试验的患者, 这可能导致选择偏倚。

5. 结论

CPET 对于冠心病的诊断具有较高价值, 且相关指标可用于评估冠心病患者冠脉狭窄程度。

声 明

该病例报道已获得病人的知情同意书。

参考文献

- [1] 项志敏. 冠心病诊治中值得关注的几个问题[J]. 中国循环杂志, 2003, 18(5): 391-392.
- [2] 苗孟丹, 信栓力, 邵丽莉. 心肺运动试验与冠状动脉狭窄程度的相关性及其诊断冠心病的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(8): 1321-1324.
- [3] Klainman, E., Fink, G., Lebzelter, J. and Zafir, N. (1998) Assessment of Functional Results after Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty by Cardiopulmonary Exercise Test. *Cardiology*, **89**, 257-262. <https://doi.org/10.1159/000006797>
- [4] Kooiman, J., Pasha, S.M., Zondag, W., Sijpkens, Y.W.J., van der Molen, A.J., Huisman, M.V., et al. (2012) Meta-Analysis: Serum Creatinine Changes Following Contrast Enhanced CT Imaging. *European Journal of Radiology*, **81**, 2554-2561. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2011.11.020>

- [5] 刘遂心, 陈彦颖, 谢康玲, 等. 有氧联合抗阻运动对冠心病患者心肺适能及运动能力的影响[J]. 中华心血管病杂志, 2017, 45(12): 1067-1071.
- [6] Weber, K.T., Kinasewitz, G.T., Janicki, J.S. and Fishman, A.P. (1982) Oxygen Utilization and Ventilation during Exercise in Patients with Chronic Cardiac Failure. *Circulation*, **65**, 1213-1223. <https://doi.org/10.1161/01.cir.65.6.1213>
- [7] Mancini, D.M., Eisen, H., Kussmaul, W., Mull, R., Edmunds, L.H. and Wilson, J.R. (1991) Value of Peak Exercise Oxygen Consumption for Optimal Timing of Cardiac Transplantation in Ambulatory Patients with Heart Failure. *Circulation*, **83**, 778-786. <https://doi.org/10.1161/01.cir.83.3.778>
- [8] 陈子奇, 张焕基, 吴奋生, 伍贵富. 心肺运动试验在心血管病评估中的价值[J]. 中国心血管杂志, 2018, 23(6): 515-518.
- [9] Kelly, A.E. and Gensini, G.G. (1962) Coronary Arteriography. *American Journal of Nursing*, **62**, 86-90. <https://doi.org/10.1097/0000446-196202000-00046>
- [10] Gensini, G.G. (1983) A More Meaningful Scoring System for Determining the Severity of Coronary Heart Disease. *The American Journal of Cardiology*, **51**, Article 606. [https://doi.org/10.1016/s0002-9149\(83\)80105-2](https://doi.org/10.1016/s0002-9149(83)80105-2)
- [11] Neeland, I.J., Patel, R.S., Eshthardi, P., Dhawan, S., McDaniel, M.C., Rab, S.T., et al. (2012) Coronary Angiographic Scoring Systems: An Evaluation of Their Equivalence and Validity. *American Heart Journal*, **164**, 547-552.e1. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2012.07.007>
- [12] Roth, G.A., Mensah, G.A., Johnson, C.O., Addolorato, G., Ammirati, E., Baddour, L.M., et al. (2020) Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors, 1990-2019. *Journal of the American College of Cardiology*, **76**, 2982-3021. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.010>
- [13] 中华医学会内分泌学分会. 成人甲状腺功能减退症诊治指南[J]. 中华内分泌代谢杂志, 2017, 33(2): 167-180.
- [14] 胡强, 韩雪松, 李安娜, 等. 冠心病心脏康复患者的关注焦点和影响因素分析[J]. 临床心血管病杂志, 2022, 38(10): 817-822.
- [15] 李欣彤, 王勇花, 周靖雅, 李鹏. 冠心病危险因素研究进展[J]. 新疆中医药, 2023, 41(3): 97-101.
- [16] Jung, E., Kong, S.Y., Ro, Y.S., Ryu, H.H. and Shin, S.D. (2022) Serum Cholesterol Levels and Risk of Cardiovascular Death: A Systematic Review and a Dose-Response Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article 8272. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148272>
- [17] Toth, P.P., Philip, S., Hull, M. and Granowitz, C. (2019) Association of Elevated Triglycerides with Increased Cardiovascular Risk and Direct Costs in Statin-Treated Patients. *Mayo Clinic Proceedings*, **94**, 1670-1680. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2019.03.028>
- [18] Goldstein, J.L. and Brown, M.S. (2015) A Century of Cholesterol and Coronaries: From Plaques to Genes to Statins. *Cell*, **161**, 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2015.01.036>
- [19] Madsen, C.M., Varbo, A. and Nordestgaard, B.G. (2017) Extreme High High-Density Lipoprotein Cholesterol Is Paradoxically Associated with High Mortality in Men and Women: Two Prospective Cohort Studies. *European Heart Journal*, **38**, 2478-2486. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx163>
- [20] Li, J., Imano, H., Yamagishi, K., Tanaka, M., Cui, R., Muraki, I., et al. (2022) Leukocyte Count and Risks of Stroke and Coronary Heart Disease: The Circulatory Risk in Communities Study (CIRCS). *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, **29**, 527-535. <https://doi.org/10.5551/jat.60889>
- [21] Adachi, H. (2017) Cardiopulmonary Exercise Test. *International Heart Journal*, **58**, 654-665. <https://doi.org/10.1536/ihj.17-264>
- [22] Herdy, A.H., Ritt, L.E.F., Stein, R., Araújo, C.G.S.D., Milani, M., Meneghelo, R.S., et al. (2016) Cardiopulmonary Exercise Test: Fundamentals, Applicability and Interpretation. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, **107**, 467-481. <https://doi.org/10.5935/abc.20160171>
- [23] 都丽, 所鸿, 顾岩, 祁晶. 运动心肺功能试验对肝胆外科手术患者术后并发症及肺功能的预测[J]. 内蒙古医科大学学报, 2023, 45(3): 287-291+296.
- [24] 陈菲. 心肺运动试验、冠脉 CTA 及冠脉造影对冠心病诊断的临床研究[D]: [硕士学位论文]. 十堰: 湖北医药学院, 2019.
- [25] 郭慧慧. 心肺运动试验与冠脉病变程度相关性研究及影响冠心病患者运动耐量因素分析[D]: [硕士学位论文]. 太原: 山西医科大学, 2021.
- [26] 肖瑶, 李宇珊, 任强, 等. 不同冠状动脉病变程度冠心病患者心肺运动试验相关指标特征分析[J]. 临床军医杂志, 2023, 51(5): 479-482+487.