DOI: 10.14188/j.1671-8852.2024.0111
文章编号 1671-8852(2025)03-0370-05

心肺运动试验联合心肌灌注显像预测围术期心血管不良事件发生风险

郑树斌 平 伟 王 麒 张瑞杰 孙启航 刘常宇 吴晓伟 张 霓
华中科技大学同济医学院附属同济医院胸外科 湖北 武汉 430030

摘要 目的：探讨心肺运动试验（CPET）和心肌灌注显像（MPI）联合应用于重大非心脏手术术前预测高危冠状动脉（冠脉）疾病患者围术期主要心血管不良事件（MACE）发生率的可行性。方法：回顾分析了61位接受重大非心脏手术的高危冠脉疾病患者，这些患者在手术前接受了CPET及MPI，观察他们在围术期MACE发生情况，包括新发心律失常、充血性心力衰竭、急性心肌梗死（AMI）、狭窄冠脉的血运重建、非致死性心脏骤停、心源性死亡。结果：在61位患者中，有25位患者术前行冠脉CT血管造影检查发现至少有一支冠脉狭窄程度超过70%，36位患者冠脉的狭窄程度均不超过70%；而经CPET及心肌灌注显像评定为高风险的患者有5位[峰值摄氧量≥15～<20 mL•min^{-1}•kg^{-1}且MPI提示心肌轻度缺血，或峰值摄氧量<15 mL•min^{-1}•kg^{-1}]，其余56位患者均为低风险。两项检查评估结果与冠脉狭窄程度无明显一致性（$P>0.05$）。术后仅有3位患者至少发生了一次MACE，1位患者在围术期出现了急性心肌梗死并在术后接受了冠脉的血运重建，1位患者出现了充血性心力衰竭，1位患者出现了新发心律失常，没有死亡病例。其中高风险组中有1位患者被诊断为围术期急性心肌梗死，并接受了冠脉介入治疗；2位低风险组患者在围术期分别出现了心力衰竭和心律失常的情况。结论：心肺运动试验和心肌灌注显像用于重大非心脏手术前评估高危冠脉疾病患者的心功能，预测围术期心血管事件的发生风险是可行的。但由于样本量较小，该研究结果需要进一步探索。

关键词 心肺运动试验；心肌灌注显像；非心脏手术；心肌缺血
中图分类号 R619
文献标识码 A
开放科学（资源服务）标识码（OSID）：

Cardiopulmonary exercise testing combined with myocardial perfusion imaging predicts the risk of perioperative cardiovascular adverse events

ZHENG Shubin, PING Wei, WANG Qi, ZHANG Ruijie, SUN Qihang, LIU Changyu, WU Xiaowei, ZHANG Ni
Dept. of Thoracic Surgery, Tongji Hospital of Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430030, Hubei, China

Abstract

Objective: To analyze and assess the feasibility of combined application of Cardiopulmonary Exercise Testing (CPET) and Myocardial Perfusion Imaging (MPI) for predicting the perioperative main adverse cardiovascular events (MACEs) rate in high-risk coronary artery disease patients before major non-cardiac surgery. **Methods:** We reviewed 61 patients with high-risk coronary artery who underwent a major non-cardiac surgery. Both CPET and MPI were preoperatively applied, which did not

课题来源：湖北省陈孝平科技发展基金（编号：CXPJJH122001-2226）
作者简介：郑树斌，男，1998—，医学硕士生，主要从事肺癌、食管癌、纵隔肿瘤相关的研究，E-mail：936736126@qq.com
通信作者：张霓，男，1976—，医学博士，主任医师，主要从事肺癌、食管癌、纵隔肿瘤相关的研究，E-mail：nizhang@tjh.tjmu.edu.cn

suggest exact myocardial ischemia. MACEs were observed in their perioperative period, which include new-onset arrhythmias, congestive heart failure, acute myocardial infarction (AMI), coronary artery revascularization for narrowed vessels, non-lethal cardiac arrest, and cardiac death. **Results:** Among the 61 patients, 25 patients were found at least one of the coronary arteries with stenosis degree exceeding 70% based on coronary computed tomographic angiography (CTA), while 36 patients were found all coronary arteries with stenosis degree below 70%. There were 4 patients assessed as high risk by CPET and MPI (peakVO_2 ≥15 - < 20 mL•min^{-1}•kg^{-1} and MPI indicating mild myocardial ischemia, or peakVO_2 <15 mL•min^{-1}•kg^{-1}), and the remaining 57 patients were considered at low risk. There was no significant consistency between the results of the two examinations and the degree of coronary stenosis (P>0.05). Postoperatively, at least one MACE happened in only three patients, with one patient experiencing acute myocardial infarction and undergoing coronary revascularization, one patient developing congestive heart failure, and one patient having new-onset arrhythmia. No death case were found. Among the high-risk group, one patient was diagnosed with perioperative acute myocardial infarction and underwent coronary intervention, while two patients in the low-risk group experienced heart failure and arrhythmia during the perioperative period, respectively. **Conclusion:** The application of Cardiopulmonary Exercise Testing and Myocardial Perfusion Imaging for preoperative assessment of cardiac function in patients with high-risk coronary artery disease undergoing major non-cardiac surgery to predict the risk of perioperative cardiovascular events is feasible. However, due to the small sample size of this study, further exploration is needed to validate the conclusion.

Key Words　Cardiopulmonary Exercise Testing; Myocardial Perfusion Imaging; Non-Cardiac Surgery; Myocardial Ischemia

在全球范围内，每年有超过2亿成年人接受重大非心脏手术，并呈上升趋势；每年有超过1 000万成年人在非心脏手术后的前30 d内发生主要心血管不良事件（major adverse cardiovascular events，MACE），同时有数百万患者在这个时间段死亡[1]。围手术期心血管并发症是非心脏手术相关发病和死亡的重要原因，尤其是在冠状动脉（以下简称冠脉）疾病患者中[2]。针对这些患者，准确的心脏风险预测可以降低围术期心血管不良事件的发生率，为外科医生的临床决策提供了重要参考。

心肺运动测试（cardiopulmonary exercise test，CPET）是客观量化功能能力的标准方法[3]。CPET用于评估患者满足大手术代谢需求的能力，并预测术后发病率和死亡率。针对心血管疾病和呼吸系统疾病，CPET能够提供大量有意义的临床诊断和较高的预后评估价值[4-5]。近年来使用心肺运动试验来评估围手术期不良事件的风险的情况有所增加。CPET提供了术前运动能力的客观评估，并确定了运动受限的原因[6]，这些信息可用于帮助临床医生和患者决定围手术期最合适的手术或非手术治疗，为多学科协作决策提供信息[7-8]。

心肌灌注显像（myocardial perfusion imaging，MPI）的基本原理是显像剂的摄取和分布与心肌血流量及心肌细胞的活性密切相关；在心肌细胞缺血致损伤或坏死的情况下，显像剂摄取减低甚至缺失，出现分布稀疏或缺失的情况。与静息状态下相比，运动时狭窄的冠脉可由于储备功能障碍，心肌血流受限增加，表现为相应心肌区域显像剂分布异常[9]。因此，通常需要运动和静息灌注显像进行对比才能做出心肌缺血的诊断。MPI可准确反映心肌缺血的部位、范围和程度，可以补充心肺运动试验，提高预测的准确性[10]。目前已有大量研究[11]单独应用CPET或MPI预测患者围术期的MACE发生风险，但尚无将两者结合共同预测的临床研究。本次研究的主要目的是为了判断联合CPET及MPI用于预测高危冠脉疾病患者在接受重大非心脏手术后发生MACE的可行性。

1　资料与方法

1.1　研究人群　本次研究收集了华中科技大学同济医学院附属同济医院胸外科自2022年1月1日至2023年10月1日接受了CPET及MPI检查的高危

冠脉疾病患者信息。接受过重大非心脏手术(主要包括胸部大手术)[12],且符合以下条件之一的共65位患者被纳入本次研究:①既往有冠心病史,行球囊扩张或保守治疗好转;②经皮冠脉支架置入术后或冠脉旁路移植术后[13];③无冠心病史,术前检查冠脉CT血管造影(computed tomographic angiography, CTA)提示有3支及以上冠脉病变或单支冠脉狭窄70%以上[14-15]。接受低风险手术(包括乳房手术、牙科手术、眼科手术、妇科手术和整形手术)或急诊手术、移植手术和创伤的患者没有被纳入本次研究。此外,患有晚期恶性肿瘤接受姑息性手术,或者患有肥厚性心肌病等其他心肌疾病或先天性心脏病的患者亦被排除在外,避免因恶性肿瘤或其他心脏疾病影响患者的预后[16]。

1.2 信息收集 患者基本信息数据收集包括年龄、性别、体质量指数(body mass index, BMI)、入院诊断、吸烟史、酗酒史、术前心脏相关检查结果(如心电图、CTA、CPET及MPI等)、基础疾病(包括高血压、糖尿病、脑血管疾病、冠心病)。围术期信息包括手术类型、手术时长、术后心肌损伤标志物化验结果、病理结果、术后住院时长、术后30 d内心脏并发症发生情况、术后30 d内再入院率。

1.3 研究终点 主要研究终点为术后30 d内MACE的发生率,包括新发心律失常、充血性心力衰竭、急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI)、靶血管血运重建、非致死性心脏骤停、心源性死亡[14]。次要研究终点包括术后住院时间、在院期间再入ICU及术后30 d内再住院。

1.4 数据分析 应用SPSS 25.0统计软件进行统计分析。使用描述性分析对入组患者信息进行分析。计数资料用百分比(%)表示;计量资料用均数±标准差描述。计数资料间的比较采用Kappa一致性检验,$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

本研究共纳入了65名患者,其中1名患者接受的姑息性手术,3位患者患有肥厚性心肌病,上述4位患者被排除在外,61名患者进入最终研究。61位患者中,因肺部占位性病变入院的患者有56位,4位是食管肿瘤患者,只有1位纵隔肿物患者(如表1)。患者的基本信息和围术期信息详见表2。

以上患者术前均完成了CPET、MPI、冠脉CTA检查。冠脉狭窄程度根据冠脉CTA结果进行分级;CPET检查结果提示$peakVO_2$≥20、≥15~<20、<15 mL•min^{-1}•kg^{-1}的患者分别有3、21、37人,心肌灌注显像提示心肌轻度缺血的患者有9人(如表3)。利用CPET及心肌灌注显像结果对上述患者进行风险分层,$peakVO_2$≥15~<20 mL•min^{-1}•kg^{-1}且心肌核素显像提示心肌轻度缺血,或$peakVO_2$<15 mL•min^{-1}•kg^{-1}的患者被认为是高风险,其他患者为低风险[10]。将CPET及心肌灌注显像的风险评估结果与CTA评估的结果进行

表1 61位患者入院诊断、手术时长及术后住院时长[例(%);$\bar{x}\pm s$]

诊断	合计	手术时长/h	术后住院时长/d
肺占位性病变	56(91.8)	2.1±1.0	8.8±4.0
食管肿瘤	4(6.6)	5.6±1.0	28.0±21.8
纵隔肿物	1(1.6)	—	—

因纵隔肿物入院患者手术时长为3 h,术后住院时长为8 d

表2 61位纳入最终研究患者的临床特征、手术信息及围术期并发症发生情况[例(%);$\bar{x}\pm s$]

项目	数值
年龄/岁	66.7±7.5
男性	45(73.8)
BMI/kg•m^{-2}	23.9±2.8
吸烟史	36(59.0)
饮酒史	20(32.8)
基础疾病	
高血压	34(55.7)
糖尿病	22(36.1)
脑血管疾病	6(9.8)
冠心病	38(62.3)
PCI术后或搭桥术后	19(31.1)
未行PCI或搭桥治疗	19(31.1)
eGFR mL•min^{-1}•1.73 m^{-2}	85.1±14.3
$peakVO_2$ mL•min^{-1}•kg^{-1}	21.1±4.5
手术类型	
微创手术	56(91.8)
开放手术	5(8.2)
病理结果为恶性	49(80.3)
术后30 d内MACE发生情况	3(4.9)
AMI	1(1.6)
充血性心力衰竭	1(1.6)
新发心律失常	1(1.6)
靶血管重建	1(1.6)
死亡病例	0
术后30 d内再入院	3(4.9)

脑血管疾病主要包括脑梗、脑出血病史等;eGFR即estimated glomerular filtration rate,估算肾小球滤过率;$peakVO_2$为峰值摄氧量,是CPET检查中反映运动耐量以及心血管功能的主要指标之一

一致性检验（如表 4），$P>0.05$，说明 CPET 及心肌核素显像评估结果与冠脉狭窄程度的一致性无统计学意义。

表 3　CPET、心肌灌注显像与冠脉狭窄程度对比检查结果（例）

项目		MPI（n=61）		peakVO$_2$/mL•min^{-1}•kg^{-1}（n=61）			冠脉狭窄程度（n=61）		MACE（n=61）
		正常	异常	＜15	≥15～＜20	≥20	轻	重	
peakVO$_2$/mL•min^{-1}•kg^{-1}	＜15	3	0	3	—	—	2	1	0
	≥15～＜20	19	2	—	21	—	12	9	2
	≥20	30	7	—	—	37	26	11	1
MPI	正常	52	—	3	19	30	36	16	2
	异常	—	9	0	2	7	4	5	1

MPI：心肌灌注显像，其异常结果指运动负荷心肌灌注显像结果提示心尖部心肌轻度缺血

术后仅有 3 位患者至少发生了一次 MACE，1 位患者在围术期出现了急性心肌梗死并在术后接受了冠脉的血运重建，1 位患者出现了充血性心力衰竭，1 位患者出现了新发心律失常，没有死亡病例。以围术期 MACE 为标准，CPET 检查判断心血管不良事件的阳性预测值为 4.2%［peakVO$_2$＜20 mL•min^{-1}•kg^{-1}被认为是阳性结果，即 2/24］，阴性预测值为 97.2%（36/37）；MPI 判断心血管不良事件的阳性预测值为 11.1%（1/9），阴性预测值为 96.2%（50/52）；CPET 与 MPI 联合判断心血管不良事件的阳性预测值为 20%（1/5），阴性预测值为 96.4%（54/56）。而冠脉 CTA 判断心血管不良事件的阳性预测值为 4.8%（1/21）；阴性预测值为 95%（38/40）。

表 4　CPET 及心肌灌注显像评估结果与冠脉狭窄程度比较（例）

CPET 及 MPI	冠脉狭窄程度		合计	Kappa	U	P
	轻	重				
低风险	37	19	56			
高风险	3	2	5	0.025	0.274	＞0.05
合计	40	21	61			

3　讨论

术后心血管不良事件作为非心脏手术后患者的主要死亡原因之一，一直是外科急需攻克的难题[17]。对于冠心病患者，外科医生的治疗决策则更需慎重。根据既往文献报道，冠心病患者接受非心脏手术后 MACE 的发生率为 9.1%～30%；而围术期心血管不良事件中，与死亡率密切相关的就是急性心肌梗死[18]。对于如何区分哪些冠心病患者能接受手术治疗这个问题，我们需要合适的术前检查来做出准确的心血管不良事件风险预测。

目前临床上除了心电图、超声心动图等常规的心脏相关检查外，外科医生常结合 CTA、冠脉造影及功能压力测试等检查结果来综合评估患者围术期心脏并发症发生风险。本次研究的结果表明，单独应用冠脉 CTA 来判断患者手术风险似乎并不全面，其阳性预测值仅有 4.8%。而冠脉造影检查虽然是诊断冠心病的“金标准”，但仍有很多缺点，如有创性检查、辐射剂量大、增加围术期出血风险、费用高等等。功能压力测试主要包括 CPET、压力超声心动图、心脏磁共振成像、MPI、核素心肌代谢显像等。本次研究选用的 CPET 及 MPI 检查已被证明在临床工作中有极高的诊断价值，并且有以下几个优点：可以在门诊完成，不增加住院时长；费用较冠脉造影、核素心肌代谢显像低；均为无创性检查，可以减少不必要的侵入性操作。

尽管 CPET 检查在近年来已被多项研究[7-8]证明其对于围术期并发症的预测能力，但该检查的评估指标受呼吸、循环等多个系统的功能影响。从本次研究结果来看，对于患有高危冠脉疾病的患者，CPET 对于 MACE 的阴性预测值达 97.2%，但其阳性预测值仅有 4.2%，由此可见 CPET 检查单独用于预测心血管不良事件的临床价值有限。而相比于 CPET 检查，MPI 具有更高的阳性预测值（11.1%），可以作为 CPET 的有效补充共同预测围术期 MACE 的发生率。联合两项检查可以进一步提高阳性预测值（20%），而阴性预测值（96.4%）与 CPET 检查单独评估相似。本次实验中，仅 1 例术前被 CPET 及 MPI 评估为高风险的患者术后出现急性心肌梗死，其他患者均无心肌缺血事件发生。CPET 及 MPI 通过评估患者的心功能储备来预测患者的围术期心血管事件发生风险，在一定程度上更能反映患者心功能的真实情况，使得评估更加准确，从而筛选出适合手术治疗的患者，为临床决策提供进一步的参考。

本次研究存在一些缺陷。首先,作为回顾性研究没有设置对照,对于CPET及心肌灌注显像预测手术风险的论证能力有限,其结果的临床意义需要进一步探讨。且受限于伦理要求,该研究难以通过对照实验证明其结论的真实性。其次,本次研究的病例数量较少,结果存在一定的偶然性,需要通过扩大样本量进一步论证。

参考文献

[1] DEVEREAUX P J, SESSLER D I. Cardiac complications in patients undergoing major noncardiac surgery [J]. N Engl J Med, 2015, 373(23): 2258-2269.

[2] CAO D, CHANDIRAMANI R, CAPODANNO D, et al. Non-cardiac surgery in patients with coronary artery disease: Risk evaluation and periprocedural management[J]. Nat Rev Cardiol, 2021, 18: 37-57.

[3] ADACHI H. Cardiopulmonary exercise test[J]. Int Heart J, 2017, 58(5): 654-665.

[4] 黄燕玲, 刘娜, 齐濛. 重度COPD患者心肺运动试验安全性及可行性[J]. 武汉大学学报(医学版), 2023, 44(3): 364-367.
HUANG Y L, LIU N, QI M. Safety and feasibility of cardiopulmonary exercise test in patients with severe COPD[J]. Med J Wuhan Univ, 2023, 44(3): 364-367.

[5] HALVORSEN S, MEHILLI J, CASSESE S, et al. 2022 ESC Guidelines on cardiovascular assessment and management of patients undergoing non-cardiac surgery [J]. Eur Heart J, 2022, 43(39): 3826-3924.

[6] 俞剑昀, 孙兴国, 卢琳, 等. 心肺运动试验(CPET)精准预测功能状态良好的肺切除手术患者的术后并发症风险[J]. 中国应用生理学杂志, 2021, 37(2): 195-201.
YU J Y, SUN X G, LU L, et al. Cardiopulmonary exercise test accurately prognoses risk of postoperative complications in patients undergoing lung resection in good functional status[J]. Chin J Appl Physiol, 2021, 37(2): 195-201.

[7] 张耀莹, 张淼, 陈伟, 等. 心肺运动试验在肺癌患者术后肺部并发症列线图预后预测模型建立中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(12): 1689-1695.
ZHANG Y Y, ZHANG M, CHEN W, et al. Application of cardiopulmonary exercise test in the establishment of a nomogram prognostic prediction model for postoperative pulmonary complications in patients with lung cancer[J]. Chin J Rehabil Med, 2023, 38(12): 1689-1695.

[8] MANN J, WILLIAMS M, WILSON J, et al. Exercise-induced myocardial dysfunction detected by cardiopulmonary exercise testing is associated with increased risk of mortality in major oncological colorectal surgery[J]. Br J Anaesth, 2020, 124(4): 473-479.

[9] 中华医学会核医学分会,中华医学会心血管病学分会. 核素心肌显像临床应用指南(2018)[J]. 中华心血管病杂志,2019,47(7): 9.
Society of Nuclear Medicine of Chinese Medical Association, Society of Cardiology of Chinese Medical Association. Guideline for the clinical use of myocardial radionuclide imaging (2018)[J]. Chin J Cardiol, 2019, 47(7):9.

[10] LI D L, KRONENBERG M W. Myocardial perfusion and viability imaging in coronary artery disease: Clinical value in diagnosis, prognosis, and therapeutic guidance [J]. Am J Med, 2021, 134(8): 968-975.

[11] FERGUSON M T, HOFMAN M S, ISMAIL H, et al. A pilot study of cardiopulmonary exercise testing and cardiac stress positron emission tomography before major non-cardiac surgery[J]. Anaesthesia, 2018, 73(12): 1524-1530.

[12] GIMELLI A, PUGLIESE N R, BUECHEL R R, et al. Myocardial perfusion scintigraphy for risk stratification of patients with coronary artery disease: The AMICO registry[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2022, 23(3): 372-380.

[13] SMITH B B, WARNER M A, WARNER N S, et al. Cardiac risk of noncardiac surgery after percutaneous coronary intervention with second-generation drug-eluting stents[J]. Anesth Analg, 2019, 128(4): 621-628.

[14] HWANG J W, KIM E K, YANG J H, et al. Assessment of perioperative cardiac risk of patients undergoing noncardiac surgery using coronary computed tomographic angiography[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2015, 8(3): e002582.

[15] SABATÉ S, MASES A, GUILERA N, et al. Incidence and predictors of major perioperative adverse cardiac and cerebrovascular events in non-cardiac surgery [J]. Br J Anaesth, 2011, 107(6): 879-890.

[16] LIU Z J, YU C H, XU L, et al. Risk factors for perioperative major cardiac events in Chinese elderly patients with coronary heart disease undergoing noncardiac surgery[J]. Chin Med J (Engl), 2013, 126(18): 3464-3469.

[17] 苟棋玲, 干学东, 王忠莉. 234例冠状动脉粥样硬化性心脏病患者临床分析[J]. 武汉大学学报(医学版), 2017, 38(2): 329-333.
GOU Q L, GAN X D, WANG Z L. Clinical analysis in 234 patients with coronary heart disease[J]. Med J Wuhan Univ, 2017, 38(2): 329-333.

[18] ALPHONSUS C S, NAIDOO N, MOTSHABI CHAKANE P, et al. South African cardiovascular risk stratification guideline for non-cardiac surgery[J]. S Afr Med J, 2021, 111(10b): 13424.

(2024-02-20收稿)
编辑 孙孝云