

基于核素心肌灌注显像评估冠心病 PCI 术后早期残留心肌缺血及其影响因素

杨志敏¹ 杨晓宇² 王跃涛¹ 俞雯吉¹ 李柯¹
邱春¹ 张飞飞¹ 邵晓梁¹ 孟宝升¹ 王建锋¹

¹苏州大学附属第三医院、常州市第一人民医院核医学科、苏州大学核医学与分子影像临床转化研究所,常州 213003;²苏州大学附属第三医院、常州市第一人民医院心血管内科,常州 213003

通信作者:王建锋, Email: wjf840623@163.com; 杨晓宇, Email: jsczyxy@163.com

【摘要】 目的 应用核素心肌灌注显像(MPI)评价冠状动脉(简称冠脉)粥样硬化性心脏病(简称冠心病)患者经皮冠脉介入治疗术(PCI)术后早期残留心肌缺血,并探讨术后早期残留心肌缺血的影响因素。方法 前瞻性连续纳入 2020 年 1 月至 2022 年 12 月于常州市第一人民医院行完全血运重建的冠心病患者 127 例[男 107 例、女 20 例,年龄(60.3±9.6)岁],患者于 PCI 术后 1~3 个月内行静息+负荷 MPI。将 MPI 提示罪犯血管供血区仍存在心肌可逆性灌注稀疏/缺损定义为早期残留心肌缺血,据此将行 PCI 的罪犯血管分为残留缺血和无缺血,比较 2 组严重狭窄(≥90%)的罪犯血管、分叉病变、冠脉弥漫性病变等心血管检查资料的差异(χ^2 检验),采用 logistic 回归分析罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血的影响因素。结果 127 例患者的 148 支罪犯血管中,残留缺血罪犯血管 49 支(33.1%, 49/148)。残留缺血组 PCI 术前严重狭窄的罪犯血管比例高于无缺血组[69.4% (34/49)与 49.5% (49/99); $\chi^2=5.27, P=0.022$],残留缺血组病变处为分叉病变的比例高于无缺血组[28.6% (14/49)与 10.1% (10/99); $\chi^2=8.23, P=0.004$],其冠脉弥漫性病变占比略高于无缺血组[14.3% (7/49)与 4.0% (4/99); $\chi^2=3.62, P=0.057$]。多因素 logistic 回归分析示,分叉病变[比值比(OR)=4.087, 95% CI: 1.615~10.344, $P=0.003$]、冠脉弥漫性病变(OR=4.208, 95% CI: 1.115~15.878, $P=0.034$)是罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血的独立影响因素。结论 冠脉罪犯血管 PCI 完全血运重建术后仍有近 1/3 的血管存在早期残留心肌缺血;分叉病变、冠脉弥漫性病变是罪犯血管早期残留心肌缺血的独立影响因素。

【关键词】 冠心病;经皮冠状动脉介入治疗;心肌缺血;心肌灌注显像;99m 锝甲氧基异丁基异腈

基金项目:国家自然科学基金(82272031, 81871381);江苏省重点研发计划(社会发展)项目(BE2021638);常州市“十四五”卫生健康高层次人才培养工程-拔尖人才[(2022)260];常州市临床医学中心(核医学)(CZZX202204)

临床试验注册:中国临床试验注册中心, ChiCTR2000038729

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230928-00066

Evaluation and influencing factors of early residual myocardial ischemia on myocardial perfusion imaging after percutaneous coronary intervention for coronary artery disease

Yang Zhimin¹, Yang Xiaoyu², Wang Yuetao¹, Yu Wenji¹, Li Ke¹, Qiu Chun¹, Zhang Feifei¹, Shao Xiaoliang¹, Meng Baosheng¹, Wang Jianfeng¹

¹Department of Nuclear Medicine, the Third Affiliated Hospital of Soochow University, the First People's Hospital of Changzhou; Institute of Clinical Translation of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Soochow University, Changzhou 213003, China; ²Department of Cardiology, the Third Affiliated Hospital of Soochow University, the First People's Hospital of Changzhou, Changzhou 213003, China

Corresponding authors: Wang Jianfeng, Email: wjf840623@163.com; Yang Xiaoyu, Email: jsczyxy@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate early residual myocardial ischemia after successful percutaneous coronary intervention (PCI) in patients with coronary artery disease by using myocardial perfusion imaging (MPI) and investigate independent influencing factors of early residual myocardial ischemia. **Methods** From January 2020 to December 2022, 127 patients (107 males, 20 females; age (60.3±9.6) years) with coronary artery disease who underwent PCI complete revascularization at the First People's Hospital of Changzhou were consecutively enrolled prospectively. All patients underwent rest and stress MPI within 1-3

months after PCI. Reversible myocardial perfusion defect in the blood supply area of the culprit vessels in stress and rest MPI was defined as early residual myocardial ischemia after PCI. Accordingly, the culprit vessels undergoing PCI were divided into residual ischemic group and non-ischemic group. Differences of cardiovascular examination between two groups were compared (χ^2 test), such as proportion of culprit vessels with severe stenosis ($\geq 90\%$), proportion of bifurcation lesions, and proportion of diffuse coronary disease. Logistic regression analyses were performed to identify influencing factors for early residual myocardial ischemia. **Results** Among 148 culprit vessels undergoing PCI in 127 patients, early residual myocardial ischemia was present in 49 vessels (33.1%, 49/148). The proportion of culprit vessels with severe stenosis before PCI in residual ischemia group was higher than that in non-ischemia group (69.4% (34/49) and 49.5% (49/99); $\chi^2 = 5.27$, $P = 0.022$). The proportion of bifurcation lesions in residual ischemic group was also higher than that in non-ischemic group (28.6% (14/49) and 10.1% (10/99); $\chi^2 = 8.23$, $P = 0.004$), with a slightly higher proportion of diffuse coronary disease compared to non-ischemic group (14.3% (7/49) and 4.0% (4/99); $\chi^2 = 3.62$, $P = 0.057$). Multivariate logistic regression analysis showed that bifurcation lesion (odds ratio (OR) = 4.087, 95% CI: 1.615–10.344, $P = 0.003$) and diffuse coronary disease (OR = 4.208, 95% CI: 1.115–15.878, $P = 0.034$) were independent influencing factors for early residual myocardial ischemia. **Conclusions** Early residual myocardial ischemia is still present in about 1/3 of the culprit vessels after PCI complete revascularization. Bifurcation lesion and diffuse coronary disease are independent influencing factors for early residual myocardial ischemia in culprit vessels.

【Key words】 Coronary disease; Percutaneous coronary intervention; Myocardial ischemia; Myocardial perfusion imaging; Technetium Tc ^{99m} sestamibi

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82272031, 81871381); Key Research and Development Program of Jiangsu Province (Social Development) (BE2021638); Top Talent of Changzhou "The 14th Five-Year Plan" High-Level Health Talents Training Project [(2022) 260]; Changzhou Clinical Medical Center (Nuclear Medicine) (CZZX202204)

Trial Registration: Chinese Clinical Trial Registry, ChiCTR2000038729

DOI: 10.3760/cma.j.cn321828-20230928-00066

经皮冠状动脉(简称冠脉)介入治疗术(percutaneous coronary intervention, PCI)是治疗冠脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)的重要手段^[1]。PCI实现了罪犯血管解剖学上的血管再通,但术后1年内仍有20%~40%的患者存在持续胸痛及残留心肌缺血,且该类患者预后差^[2-6]。因此,并非所有的冠心病患者从PCI治疗中真正获益,仍需密切关注PCI术后残留心肌缺血情况。

既往研究多集中于应用有创血流动力学指标评价PCI术后功能性缺血,包括冠脉血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)、瞬时无波比(instantaneous wave-free ratio, iFR)、微循环阻力指数(index of microcirculatory resistance, IMR)等,但因其有创及禁忌证较多,临床应用不普及。静息+负荷核素心肌灌注显像(myocardial perfusion imaging, MPI)是准确评价心肌缺血的无创功能影像学技术^[7],目前多用于诊断心肌缺血及指导治疗决策,罕有应用其评估PCI术后短期内残留心肌缺血的报道。另外,PCI术后存在残留心肌缺血的影响因素目前亦不明确。因此,本研究应用MPI评估完全血运重建的冠脉罪犯血管是否存在残留可逆性心肌缺血,并探讨其相关的影响因素。

资料与方法

1. 研究对象。前瞻性纳入2020年1月至2022年

12月在常州市第一人民医院心血管内科行PCI完全重建术,并在PCI术后1~3个月内行静息+负荷MPI的冠心病患者127例,其中男107例、女20例,年龄(60.3±9.6)岁。

纳入标准:(1)根据临床症状、心电图、心肌损伤标志物并行冠脉造影(coronary angiography, CAG)确诊为冠心病;(2)根据冠脉血运重建指南指导血运重建^[8-9],CAG显示至少有1条血管狭窄 $\geq 70\%$ 或PCI术前FFR ≤ 0.80 的证据;(3)成功接受PCI且完全血运重建的冠脉罪犯血管;(4)住院病历资料及相关检查资料完整有效。排除标准:(1)既往行PCI或冠脉旁路移植术的罪犯血管;(2)合并严重瓣膜疾病、肥厚型或扩张型心肌病;(3)既往植入心脏起搏器者;(4)无法进行运动负荷或腺苷药物负荷试验者;(5)合并严重免疫系统疾病、感染性疾病、血液系统疾病和恶性肿瘤等。本研究经常州市第一人民医院伦理委员会的批准(2020科第032号),研究对象入组前签署知情同意书。

2. 临床数据采集及病变定义。收集患者行PCI前的临床资料、血清学相关指标;收集PCI术时CAG结果及PCI情况。通过PCI术后1~3个月的心电图获得ST-T改变情况,通过心脏超声获得左室射血分数。将冠心病类型分为慢性冠脉综合征(chronic coronary syndrome, CCS)和急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)。其中,CCS根据

欧洲心脏病学会 2019 版 CCS 诊断与管理指南定义^[10];ACS 定义为 ST 段抬高型心肌梗死、非 ST 段抬高型心肌梗死和不稳定型心绞痛。中度狭窄病变定义为罪犯血管 PCI 术后存在非支架段 40%~69% 狭窄^[8],经临床医师结合功能学评估以及症状等判定不需要进行血运重建;分叉病变定义为 Medina 分类体系的真分叉病变及假分叉病变;冠脉弥漫性病定义为弥漫性斑块浸润长度至少超过 20 mm;慢血流定义为 PCI 术后心肌梗死溶栓治疗(thrombolysis in myocardial infarction, TIMI)血流分级小于 3 级。

3. MPI 及图像分析。采用德国 Siemens 公司 Symbia T16 型双探头 SPECT/CT 仪显像。⁹⁹Tc^m-甲氧基异丁基异腈(methoxyisobutylisonitrile, MIBI)由上海欣科医药有限公司提供,放化纯>95%,注射剂量 740~1 110 MBq。检查前患者停用 β 受体阻滞剂、硝酸酯类等影响心率或扩张冠脉的药物。所有患者采用 2 日法静息+运动或腺苷药物负荷试验 MPI, 负荷试验患者准备及图像采集要点参照指南^[11-12]。静息及负荷 MPI 采集条件:平行孔低能高分辨准直器,矩阵 128×128,放大倍数 1.45,双探头呈 90°,各旋转 90°,共 180°采集,6°/帧,每帧采集 35 s。采用三维 Flash 迭代法(迭代次数为 16,子集数为 2)重建图像,最终获取左心室三维轴向图像(即短轴、水平长轴及垂直长轴)。

4. 心肌缺血判断标准。根据美国心脏协会推荐方法,将左心室心肌分为 17 节段,将相应心肌节段分别定义为前降支、回旋支及右冠脉供血区域^[13]。将罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血定义为 PCI 术后 1~3 个月内静息/负荷 MPI 提示相应罪犯血管

供血区仍存在心肌可逆性灌注稀疏/缺损。MPI 图像重建后,由 2 位有经验的核医学科医师分别视觉评价罪犯血管供血区域 MPI 图像有无异常,所有结果经 2 人判读并取得一致。意见不一致时由第 3 位核医学专业高级职称医师共同参与阅片,以讨论后的结果为最终诊断。

5. 统计学处理。采用 R 软件(版本 4.1)进行统计分析,符合正态分布的定量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,非正态分布的定量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,定性资料以例数(%)表示。定量资料的比较采用两独立样本 *t* 检验(符合正态分布)或 Mann-Whitney *U* 检验(非正态分布),定性资料的比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。采用单因素及多因素 logistic 回归分析罪犯血管 PCI 术后残留缺血的影响因素。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

1. 患者一般资料分析(表 1)。127 例患者中,单支病变患者 108 例、两支病变患者 17 例、三支病变患者 2 例,涉及病变血管 148 支。有 59 例患者行腺苷药物负荷 MPI,68 例患者行运动负荷 MPI。罪犯血管前降支、回旋支、右冠脉分别占比为 51.4%(76/148)、19.6%(29/148)、29.0%(43/148)。根据静息+负荷 MPI 结果,可逆性心肌缺血患者 46 例(36.2%, 46/127),PCI 处理罪犯血管有 49 支(33.1%, 49/148)。残留缺血组患者年龄高于无缺血组[(62.5±8.3)与(59.0±10.0)岁;*t*=1.99,*P*=0.049];2 组患者在性别、高血压、糖尿病、高脂血症、冠心病分型等一般临床资料间的差异均无统计学意义(χ^2 值:0.06~0.96,*t* 值:-1.11~1.80,*z* 值:-1.09 和-1.04,均 *P*>0.05)。

表 1 不同组患者一般临床资料的比较 [$\bar{x} \pm s$ 或 $M(Q_1, Q_3)$]

| 组别 | 例数 | 血管支数 | 性别(例) | | 年龄(岁) | 体质量指数(kg/m ²) | 吸烟(例) | 家族史(例) | 高血压(例) | 糖尿病(例) | 高脂血症(例) | 冠心病分型(例) | |
|------------|----|------|-------------------|----|-------------------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|
| | | | 男 | 女 | | | | | | | | CCS | ACS |
| 残留缺血组 | 46 | 49 | 40 | 6 | 62.5±8.3 | 24.5±3.0 | 31 | 2 | 28 | 13 | 18 | 18 | 28 |
| 无缺血组 | 81 | 99 | 67 | 14 | 59.0±10.0 | 25.1±2.6 | 48 | 7 | 51 | 18 | 39 | 39 | 42 |
| 检验值 | | | 0.40 ^a | | 1.99 ^b | -1.03 ^b | 0.82 ^a | 0.30 ^a | 0.06 ^a | 0.58 ^a | 0.96 ^a | 0.96 ^a | |
| <i>P</i> 值 | | | 0.528 | | 0.049 | 0.305 | 0.364 | 0.585 | 0.815 | 0.446 | 0.326 | 0.326 | |

| 组别 | 例数 | cTnI (ng/L) | TC (mmol/L) | TG (mmol/L) | HDL-C (mmol/L) | LDL-C (mmol/L) | 双抗(例) | 他汀类(例) | 左心室射血分数(%) | ST-T 改变(例) |
|------------|----|--------------------|-------------------|---------------|--------------------|-------------------|-------|--------|-------------------|-------------------|
| 残留缺血组 | 46 | 30.4(4.9, 1 367.0) | 4.4±1.1 | 1.5(1.2, 2.7) | 1.0±0.2 | 2.6±0.9 | 46 | 45 | 60.9±3.8 | 31 |
| 无缺血组 | 81 | 8.7(3.4, 1 927.8) | 4.4±1.1 | 1.8(1.3, 2.7) | 1.0±0.3 | 2.5±0.9 | 78 | 78 | 59.4±6.0 | 48 |
| 检验值 | | -1.04 | 0.09 ^b | -1.09 | -1.11 ^b | 1.02 ^b | - | - | 1.80 ^b | 0.82 ^a |
| <i>P</i> 值 | | 0.299 | 0.926 | 0.275 | 0.268 | 0.312 | 0.553 | 0.999 | 0.074 | 0.364 |

注:ACS 为急性冠状动脉(简称冠脉)综合征,CCS 为慢性冠脉综合征,cTnI 为超敏肌钙蛋白,HDL-C 为高密度脂蛋白胆固醇,LDL-C 为低密度脂蛋白胆固醇,TC 为总胆固醇,TG 为三酰甘油,冠心病为冠脉粥样硬化性心脏病的简称;双抗为双重抗血小板治疗(包括阿司匹林和氯吡格雷或替格瑞洛或普拉格雷);^a为 χ^2 值,^b为 *t* 值,余为 *z* 值;-为 Fisher 确切概率法,仅有 *P* 值

2. 2 组间心血管检查资料的比较(表 2)。在 CAG 中,残留缺血组 PCI 术前严重狭窄($\geq 90\%$)的罪犯血管比例高于无缺血组[69.4%(34/49)与 49.5%(49/99); $\chi^2 = 5.27, P = 0.022$]。残留缺血组病变处为分叉病变的比例也高于无缺血组[28.6%(14/49)与 10.1%(10/99); $\chi^2 = 8.23, P = 0.004$],其冠脉弥漫性病变占比略高于无缺血组[14.3%(7/49)与 4.0%(4/99); $\chi^2 = 3.62, P = 0.057$]。

3. PCI 术后早期残留心肌缺血影响因素的 logistic 回归分析(表 3)。单因素 logistic 回归分析示,分叉病变[比值比(odds ratio, OR)=3.560,95% CI:1.446~8.763, $P = 0.006$]、冠脉弥漫性病变(OR=3.958,95% CI:1.099~14.251, $P = 0.035$)及 PCI 术前严重狭窄($\geq 90\%$)(OR=2.313,95% CI:1.121~4.771, $P = 0.023$)与罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血相关。多因素 logistic 回归分析示,分叉病变(OR=4.087,95% CI:1.615~10.344, $P = 0.003$)、冠脉弥漫性病变(OR=4.208,95% CI:1.115~15.878, $P = 0.034$)是罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血的独立影响因素。典型患者检查图像见图 1,2。

讨 论

本研究基于核素 MPI 评估冠心病患者冠脉罪犯血管完全血运重建术后有无早期残留心肌缺血,并探索了相关的影响因素。结果显示,冠脉罪犯血管 PCI 术后仍有 33.1%的血管存在早期残留心肌缺

血;分叉病变(OR=4.087,95% CI:1.615~10.344, $P = 0.003$)、冠脉弥漫性病变(OR=4.208,95% CI:1.115~15.878, $P = 0.034$)是罪犯血管早期残留心肌缺血的独立影响因素。

冠脉分叉病变是冠心病介入治疗中较常见的复杂病变类型之一,约占需干预的冠脉病变的 15%~20%^[14]。与非分叉冠脉病变比较,分叉病变 PCI 术中出现并发症风险高,且 PCI 术后因支架血栓形成,其发生分支再狭窄、靶病变血运重建以及主要心血管不良事件的风险概率明显增高^[15]。目前,关于分叉病变与 PCI 术后残留缺血关系尚不明确。一项 FFR-鹿特丹心脏病医院支架评估(FFR-stent evaluated at Rotterdam Cardiology Hospital, FFR-SEARCH)研究发现,PCI 术后 FFR ≤ 0.90 组的分叉病变比例明显高于 FFR > 0.90 组(70/398 与 39/396),提示分叉病变可能是 PCI 术后存在残留心肌缺血的影响因素^[16]。本研究以 MPI 结果作为评价残留心肌缺血的标准,分析发现分叉病变是 PCI 术后早期残留缺血的独立影响因素,与上述研究结果相似,这提示存在分叉病变的冠心病患者在 PCI 术后存在早期残留心肌缺血的概率较高。

本研究中,冠脉弥漫性病变是 PCI 术后早期残留心肌缺血的另一独立影响因素,提示冠脉弥漫性病变的患者 PCI 术后存在早期残留心肌缺血的概率仍较高,该结论与既往研究结果一致^[17-21]。Baranauskas

表 2 不同组别的心血管检查结果比较

| 组别 | 血管支数 | 冠脉分支 | | | PCI 术前严重狭窄($\geq 90\%$) | 侧支循环建立 | 术中慢血流 | 中度狭窄病变 | 分叉病变 | 冠脉弥漫性病变 | 血栓 | 心肌桥 |
|------------|------|------|-------|-----|---------------------------|--------|-------|--------|-------|---------|-------|-------|
| | | 前降支 | 回旋支 | 右冠脉 | | | | | | | | |
| 残留缺血组 | 49 | 28 | 7 | 14 | 34 | 7 | 6 | 15 | 14 | 7 | 10 | 8 |
| 无缺血组 | 99 | 48 | 22 | 29 | 49 | 10 | 7 | 32 | 10 | 4 | 18 | 10 |
| χ^2 值 | | | 1.54 | | 5.27 | 0.56 | 0.54 | 0.04 | 8.23 | 3.62 | 0.11 | 1.19 |
| P 值 | | | 0.463 | | 0.022 | 0.452 | 0.461 | 0.833 | 0.004 | 0.057 | 0.745 | 0.276 |

注:PCI 为经皮冠状动脉(简称冠脉)介入治疗术

表 3 影响冠脉罪犯血管 PCI 术后早期残留心肌缺血的 logistic 回归分析结果($n = 148$)

| 变量 | 单因素分析 | | 多因素分析 | |
|---------------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| | OR(95% CI) | P 值 | OR(95% CI) | P 值 |
| 男性 | 0.628(0.232~1.699) | 0.359 | - | - |
| 年龄(岁) | 1.029(0.991~1.068) | 0.140 | - | - |
| 分叉病变 | 3.560(1.446~8.763) | 0.006 | 4.087(1.615~10.344) | 0.003 |
| 冠脉弥漫性病变 | 3.958(1.099~14.251) | 0.035 | 4.208(1.115~15.878) | 0.034 |
| PCI 术前严重狭窄($\geq 90\%$) | 2.313(1.121~4.771) | 0.023 | - | - |
| HDL-C(mmol/L) | 1.125(0.786~1.609) | 0.520 | - | - |
| 左心室射血分数(%) | 1.068(0.990~1.153) | 0.087 | - | - |

注:各变量中,男性、分叉病变、冠脉弥漫性病变、PCI 术前严重狭窄($\geq 90\%$)赋值为 1,年龄、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、左心室射血分数为连续变量;OR 为比值比;-为无意义

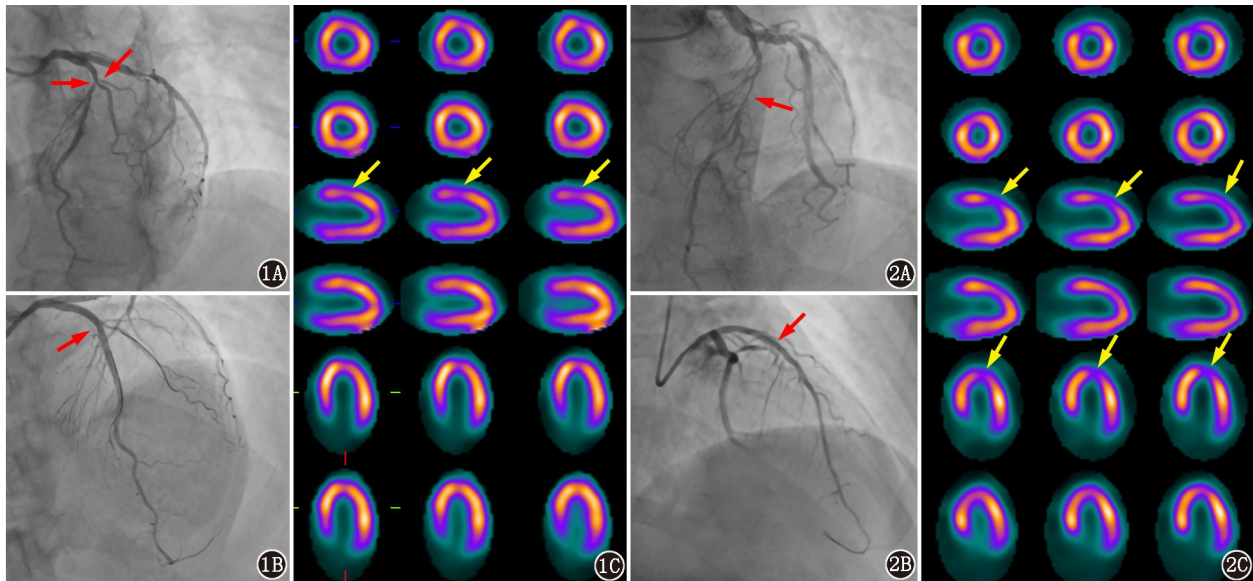


图 1 冠状动脉(简称冠脉)分叉病变经皮冠脉介入治疗术(PCI)后残留心肌缺血患者(女,58岁)影像学检查图[稳定型冠脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病),术中心肌梗死溶栓治疗(TIMI)血流分级为3级]。1A.冠脉造影(CAG)提示前降支近中段90%狭窄,累及第一对角支开口90%狭窄(血管直径约2.0 mm)(箭头示);1B.于前降支近中段植入1枚支架及第一对角支开口病变球囊扩张实现完全血运重建(箭头示);1C.术后1个月余行静息+负荷心肌灌注显像(MPI)示前壁中段心肌缺血表现(前降支供血区)(箭头示) **图 2** 冠脉弥漫性病变 PCI 后残留心肌缺血患者(男,48岁)影像学检查图(急性非 ST 抬高型心肌梗死,术中 TIMI 血流分级为3级)。2A. CAG 提示前降支近段至中段弥漫性病变 50%~80%狭窄(箭头示);2B.于前降支近段至中段病变处植入3枚支架实现完全血运重建(箭头示);2C.术后1个月余行静息+负荷 MPI 提示前壁中段、前壁近心尖、部分心尖部心肌缺血表现(前降支供血区)(箭头示)

等^[17]发现,在大多数接受过长药物洗脱支架植入的患者中,当患者存在冠脉弥漫性病变且支架总长度超过50 mm时,PCI术后仍存在低FFR现象。Mizukami等^[18]发现,相对于局灶性病变,冠脉弥漫性病变PCI术后的FFR值普遍偏低(0.91 ± 0.07 与 0.86 ± 0.05)。Biscaglia等^[19]发现病变长度是PCI后定量血流分数(quantitative flow ratio, QFR)降低的预测因素(标准化 $\beta = -0.152$, 95% CI: $-0.235 \sim -0.069$; $P < 0.001$)。上述研究均表明,冠脉弥漫性病变进行血运重建术后,并未完全纠正异常的冠脉血流。另外,既往其他基于FFR的研究同样证实,冠脉弥漫性病变是PCI术后低FFR(< 0.80)的预测因素^[20-21]。分析可能原因:与局灶性病变相比,弥漫性病变血管的PCI通常需要更长、更多的支架,从而增加了侧支闭塞和支架所致夹层的风险,导致PCI术后仍存在残留缺血^[18]。

本研究存在一些局限性。(1)本研究为单中心前瞻性研究,纳入总样本量相对较小,阳性病例数较少,需进一步开展多中心研究及更大的样本量的研究,以对本研究结论进行验证。(2)本研究针对完全血运重建的罪犯血管进行评价,理论上不同冠脉分支由于解剖结构和供血优势不同,PCI术后的血流恢复程度也可能不同,但由于样本量偏少,本研究

无法进行冠脉分支的分组,无法区分不同血管间分叉病变、冠脉弥漫性病变等差异是否存在统计学意义。(3)缺乏定量冠脉血流指标(如FFR、QFR、IMR等),尤其是微循环病变相关指标,后续需要进一步明确罪犯血管PCI术后MPI评估残留心肌缺血与FFR、QFR、IMR等冠脉血流定量指标的关系。

综上,本研究发现,冠脉罪犯血管PCI术后仍有近1/3的血管存在早期残留心肌缺血,MPI可直观显示PCI术后残留可逆性心肌缺血;分叉病变、冠脉弥漫性病变是罪犯血管早期残留心肌缺血的独立影响因素。本研究结论有助于指导临床早期应用MPI评估PCI术后有无残留心肌缺血,为PCI术后的科学管理提供依据。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 杨志敏:研究实施、论文撰写;杨晓宇:数据采集、图像分析、论文修改;王跃涛、王建锋:研究指导、论文修改、经费支持;俞雯吉、张飞飞、邵晓梁:研究指导、论文修改;李柯、邱春:统计学分析;孟宝升:技术支持

参 考 文 献

- [1] Writing Committee Members, Lawton JS, Tamis-Holland JE, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. J Am Coll Cardiol, 2022, 79(2): e21-e129. DOI:10.1016/

- j.jacc.2021.09.006.
- [2] Crea F, Bairey Merz CN, Beltrame JF, et al. Mechanisms and diagnostic evaluation of persistent or recurrent angina following percutaneous coronary revascularization [J]. *Eur Heart J*, 2019, 40 (29): 2455-2462. DOI:10.1093/eurheartj/ehy857.
- [3] Patel MR, Jeremias A, Maehara A, et al. 1-year outcomes of blinded physiological assessment of residual ischemia after successful PCI: DEFINE PCI Trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2022, 15 (1): 52-61. DOI:10.1016/j.jcin.2021.09.042.
- [4] Piroth Z, Otsuki H, Zimmermann FM, et al. Prognostic value of measuring fractional flow reserve after percutaneous coronary intervention in patients with complex coronary artery disease: insights from the FAME 3 trial [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2022, 15(11): 884-891. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.122.012542.
- [5] Diletti R, Masdjedi K, Daemen J, et al. Impact of poststenting fractional flow reserve on long-term clinical outcomes: the FFR-SEARCH study [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2021, 14 (3): e009681. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.120.009681.
- [6] Huang J, Yang X, Hu Y, et al. Intravascular ultrasound-based fractional flow reserve for predicting prognosis after percutaneous coronary intervention [J]. *J Cardiovasc Transl Res*, 2023, 16(6): 1417-1424. DOI:10.1007/s12265-023-10409-2.
- [7] 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): 519-527. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.07.003. Chinese Society of Nuclear Medicine, Chinese Society of Cardiology. Guideline for the clinical use of myocardial radionuclide imaging (2018) [J]. *Chin J Cardiol*, 2019, 47(7): 519-527. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2019.07.003.
- [8] Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI guideline for coronary artery revascularization: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. *Circulation*, 2022, 145(3): e18-e114. DOI:10.1161/CIR.0000000000001038.
- [9] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 中国经皮冠状动脉介入治疗指南 (2016) [J]. *中华心血管病杂志*, 2016, 44(5): 382-400. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006. Section of Interventional Cardiology of Chinese Society of Cardiology of Chinese Medical Association, Specialty Committee on Prevention and Treatment of Thrombosis of Chinese College of Cardiovascular Physicians, Editorial Board of Chinese Journal of Cardiology. Chinese guideline for percutaneous coronary intervention [J]. *Chin J Cardiol*, 2016, 44 (5): 382-400. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-3758.2016.05.006.
- [10] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41(3): 407-477. DOI:10.1093/eurheartj/ehz425.
- [11] 中华医学会核医学分会《SPECT 心肌灌注显像技术与图像操作要点专家共识 (2019 版)》编写委员会, 中华医学核医学分会“基于中国正常人群的心肌灌注 SPECT 定量分析多中心研究”项目组. SPECT 心肌灌注显像技术与图像处理要点专家共识 (2019 版) [J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2020, 40(1): 32-36. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.01.007. Writing Committee of Chinese Society of Nuclear Medicine for the 2019 Expert Consensus for Key Points of Technique and Image Process during SPECT Myocardial Perfusion Imaging, Chinese Society of Nuclear Medicine Expert Group of Multi-center Study on Quantitative Analysis of SPECT Myocardial Perfusion Imaging in Normal Chinese Population. 2019 Expert consensus for key points of technique and image process during SPECT myocardial perfusion imaging [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2020, 40(1): 32-36. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-2848.2020.01.007.
- [12] Henzlova MJ, Duvall WL, Einstein AJ, et al. ASNC imaging guidelines for SPECT nuclear cardiology procedures: stress, protocols, and tracers [J]. *J Nucl Cardiol*, 2016, 23(3): 606-639. DOI:10.1007/s12350-015-0387-x.
- [13] Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association [J]. *Circulation*, 2002, 105(4): 539-542. DOI:10.1161/hc0402.102975.
- [14] Lassen JF, Holm NR, Banning A, et al. Percutaneous coronary intervention for coronary bifurcation disease: 11th consensus document from the European Bifurcation Club [J]. *EuroIntervention*, 2016, 12(1): 38-46. DOI:10.4244/EIJV12I1A7.
- [15] Colombo A, Al-Lamee R. Bifurcation lesions: an inside view [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2010, 3(2): 94-96. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.110.952416.
- [16] van Bommel RJ, Masdjedi K, Diletti R, et al. Routine fractional flow reserve measurement after percutaneous coronary intervention [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2019, 12(5): e007428. DOI:10.1161/CIRCINTERVENTIONS.118.007428.
- [17] Baranauskas A, Peace A, Kibarskis A, et al. FFR result post PCI is suboptimal in long diffuse coronary artery disease [J]. *EuroIntervention*, 2016, 12(12): 1473-1480. DOI: 10.4244/EIJ-D-15-00514.
- [18] Mizukami T, Sonck J, Sakai K, et al. Procedural outcomes after percutaneous coronary interventions in focal and diffuse coronary artery disease [J]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(23): e026960. DOI:10.1161/JAHA.122.026960.
- [19] Biscaglia S, Tebaldi M, Brugaletta S, et al. Prognostic value of QFR measured immediately after successful stent implantation: the international multicenter prospective HAWKEYE study [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2019, 12(20): 2079-2088. DOI: 10.1016/j.jcin.2019.06.003.
- [20] Uretsky BF, Agarwal SK, Vallurupalli S, et al. Prospective evaluation of the strategy of functionally optimized coronary intervention [J]. *J Am Heart Assoc*, 2020, 9(3): e015073. DOI:10.1161/JAHA.119.015073.
- [21] Agarwal SK, Kasula S, Almomani A, et al. Clinical and angiographic predictors of persistently ischemic fractional flow reserve after percutaneous revascularization [J]. *Am Heart J*, 2017, 184: 10-16. DOI:10.1016/j.ahj.2016.10.016.

(收稿日期:2023-09-28)