

基于冠脉造影的血流储备分数（caFFR）在冠脉临界病变介入治疗中的应用

张润军¹ 刘敏¹ 王宇² 王勋¹ 张志丹¹ 胡芮嘉¹

1. 中国人民解放军联勤保障部队第926医院心内科 云南开远 661600

2. 昆明市第一人民医院心内科 云南昆明 650100

摘要：目的：评价基于冠脉造影的血流储备分数（caFFR）在冠脉临界病变介入治疗中的应用价值及临床意义。方法：对2022年1月至2023年6月期间在解放军第926医院心内科行冠状动脉造影（CAG）并确诊为冠心病的122例临界病变患者进行回顾性分析。将患者分为对照组（CAG组）和观察组（CAG+caFFR组），其中CAG组59例，基于术者经验和患者的临床表现等辅助检查结果，决定是否行经皮冠状动脉介入治疗（PCI）；CAG+caFFR组63例，治疗方案的选择则依据患者的caFFR值来决定，所有患者均接受最优化的药物治疗。以0.80作为caFFR的临界值，并对CAG-caFFR组进一步分组，若靶血管caFFR \leq 0.8，则实施PCI及药物治疗（CAG-caFFR-PCI组，n=15）；若caFFR $>$ 0.8，则仅进行单纯药物治疗（CAG-caFFR-药物组，n=48）。比较两组之间靶血管病变部位的数目、病变类型以及病变血管的数量，并对CAG-caFFR亚组内靶血管病变部位情况进行定量分析（QCA）。术后随访1年，观察主要不良心血管事件（MACE），包括心源性死亡、非致死性心肌梗死和再次血运重建，以及各组间心绞痛复发的差异。结果：观察组和对照组在基线资料特征、靶血管病变数量、类型及受影响血管数等方面无显著差异（ $P > 0.05$ ）；而在随访1年中，观察组和对照组的MACE发生率分别为7.9% vs 27.1%（ $P < 0.01$ ）；再次血运重建发生率分别为6.4% vs 22%（ $P < 0.05$ ）；因急性心肌梗死入院的发生率分别为1.6% vs 5.1%（ $P > 0.05$ ）；心绞痛发生率分别为14.3% vs 30.5%（ $P < 0.05$ ）。在行caFFR检查的两亚组中，造影QCA定量分析caFFR \leq 0.8组的血管直径狭窄和最小管腔直径更为严重。CAG-caFFR-PCI组与CAG-caFFR-药物组MACE发生率分别为6.7% vs 10.4%；在随访期间再发心绞痛的发生率分别为13.3% vs 14.6%，总的MACE与心绞痛发生率在两亚组间无显著统计学差异（ $P > 0.05$ ）。结论：在冠状动脉临界病变介入治疗中，基于caFFR指导的PCI能够有效区分功能性病变与非功能性病变。这种方法不仅显著改善了患者的预后，还降低了MACE的发生风险。此外，它为精准介入治疗决策提供了关键指导，进一步提升了冠心病患者的治疗成功率。因此，基于caFFR的治疗策略展现出广泛的临床应用潜力，值得推广应用。

关键词：冠心病；临界病变；冠脉造影；冠脉造影衍生的血流储备分数；经皮冠状动脉介入治疗；主要心脏不良事件

冠状动脉硬化性心脏病（CAD）是全球范围内导致死亡的主要原因之一。CAD主要由冠状动脉内粥样硬化斑块的形成和发展引起，导致管腔狭窄，影响心肌血流灌注，最终引发心肌缺血和心绞痛^[1]。经皮冠状动脉介入治疗（PCI）已成为治疗CAD的主要方法，但对于冠脉中度狭窄（50%–70%）是否需要PCI治疗仍存在争议^[2]。冠状动脉造影（CAG）是评估冠脉狭窄程度的金标准，但仅提供冠脉管腔的形态学信息，无法揭示心肌缺血状态。近年来，冠脉血流储备分数

（FFR）作为功能学检查指标，受到广泛关注，能评估冠脉狭窄对心肌缺血的功能学意义^[3-4]。尽管FFR被指南推荐，但在实际应用中仍面临成本和操作复杂性方面的挑战^[5]。近年来，随着常规CAG图像的三维重建技术不断发展，冠脉FFR值（caFFR）的计算方法得以革新，为FFR技术的广泛应用开辟了新的途径^[6]。然而，目前基于caFFR评估的PCI策略在冠心病患者长期预后方面的研究仍然较为匮乏。因此，本研究旨在通过纳入中等程度冠状动脉狭窄的患者，结

合常规 CAG 和 caFFR 评估，为 PCI 治疗提供指导。我们将比较基于 caFFR 和传统 CAG 指导的 PCI 治疗方案，并通过随访观察主要心血管不良事件（MACE）的发生情况，为基于 caFFR 的冠脉介入治疗提供循证依据。

1 资料及方法

1.1 研究对象及一般资料

选取 2022 年 1 月至 2023 年 6 月于我院心内科接受治疗的 122 例冠心病患者作为研究对象。这些患者根据实施的治疗方案被分为对照组和观察组。对照组包括 59 例患者，所有患者在接受冠状动脉造影后进行经皮冠状动脉介入治疗（PCI）或药物治疗，其中男性 34 例，女性 25 例。该组患者的年龄介于 41 岁至 78 岁之间，平均年龄为 61.5 ± 9.0 岁。观察组由 63 例患者构成，所有患者均接受 CAG 及冠状动脉功能学检测（caFFR），并依据检测结果选择相应的治疗方案，该组中男性 40 例，女性 23 例，年龄范围为 46 岁至 76 岁，平均年龄为 60.3 ± 7.2 岁。经过统计学分析，两组在一般资料方面没有显著差异（ $P > 0.05$ ）。

1.1.1 纳入标准

①经冠脉造影检查，确认至少有一支主要冠脉的管腔直径狭窄程度在 50% 至 70% 之间；②患者同意接受基于冠脉造影的血流储备分数（caFFR）检测；③患者对相关检查及手术的健康知识已经有充分的了解；④患者签署知情同意书。

1.1.2 排除标准

(1)既往曾接受 PCI 或冠状动脉旁路移植（CABG）治疗；(2)陈旧性心肌梗死或近 1 周经历过急性冠状动脉综合征（ACS）发作；(3)患有哮喘、慢性阻塞性肺病（COPD）、严重的结构性心脏病、心肌病、肝肾功能不全、II 度以上房室传导阻滞；(4)患有全身感染性疾病及凝血功能障碍；(5)患有阿尔茨海默病、精神或语言障碍；(6)冠脉痉挛或冠脉狭窄程度超过 70%；(7)对造影剂有过敏反应；(8)随访困难者。

1.1.3 伦理学

本研究获得医院伦理审查委员会批准，批准文号为 202201012。研究方案严格遵循国家制定的涉及人类的生物医学研究伦理标准。

1.2 研究方法

对照组共纳入 59 例患者，均接受冠状动脉造影检查，采用 6F Judkins 导管经桡动脉入路进行左右冠状动脉造影，

在确认冠状动脉狭窄程度为 50% 至 70% 之间，并符合经皮冠状动脉介入（PCI）手术的相关指征后，随即接受介入治疗。观察组 63 例患者先进行 CAG 检查，一旦确认冠脉存在临界病变后即刻行 caFFR（Flash Angio caFFR 系统，苏州润迈德）测定：将具有芯片识别功能的一次性使用有创压力传感器分别与 IBP 电缆线及三通板相连，生理盐水冲洗整个传感器管路后校零。经桡动脉鞘将造影导管置入，造影前注射硝酸甘油，图像采集速度为 15 帧/秒，曝光 1 秒后，以均匀的速度（4mL/s）的速度恒速推注对比剂并稳定注射 3 个心动周期以上，选取两个投照体位 $\geq 30^\circ$ ，传输选取符合要求的图像到 caFFR 工作站，进行图像浏览及创建血管，精确选帧、分割、调整，计算流速并确认压力，得出 caFFR 值。根据 caFFR 值的分组结果，共有 48 例患者 caFFR 值 > 0.80 ，被纳入药物治疗组，接受强化药物治疗，该方案包括他汀类药物，阿司匹林、P2Y₁₂受体拮抗剂以及 β -受体阻滞剂、RAAS 抑制剂等药物；另外 15 例患者 caFFR 值 ≤ 0.80 ，这部分患者被纳入了 PCI 治疗组，接受药物治疗和经 PCI 手术相结合的治疗方案。

1.3 观察指标

1.3.1 临床研究资料比较

收集并整理对照组与观察组的临床基本资料，包括患者的性别、年龄、体重指数（BMI）、合并的危险因素及相关基础疾病（如高血压、糖尿病、高脂血症）、吸烟史，实验室检验指标（包括空腹血糖水平、血红蛋白含量、血肌酐及尿酸水平，左心室射血分数（LVEF），患者在住院期间及随访 1 年的用药情况等，并对数据进行分析与比较。

1.3.2 冠脉造影参数比较

比较对照组和观察组的冠脉造影参数，以及分析观察组内不同个体的冠脉造影参数。包括病变部位、病变类型、受影响的病变血管数量、血管狭窄程度以及参考血管直径（mm）、最小管腔直径（mm）。

1.3.3 随访结果比较

对所有患者进行为期 1 年的电话和（或）门诊随访，详细记录各组主要心脏不良事件（MACE）包括急性心肌梗死、心源性猝死、再次血运重建的发生情况及再发心绞痛的发生率，并对结果进行系统的分析与比较。

1.4 统计学处理

对研究中收集整理的所有数据和资料均在 IBM SPSS

23.0 软件中进行规范统计。如计量资料符合正态分布, 以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示。不同组间差异性的比较采用 t 检验或 F 检验。计数资料以例数和百分比 n (%) 表示, 组间比较采用 χ^2 检验。当 $P < 0.05$, 差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般基线资料情况比较

研究结果表明: 在住院期间及出院后一年, 各组别患者在年龄、性别及合并的相关危险因素方面, 如 BMI、吸烟史、是否有高血压、糖尿病、高脂血症, 空腹血糖水平、血红蛋白含量、血清肌酐及尿酸水平, LVEF 等指标上均未观察到显著的统计学差异 ($P > 0.05$)。(见表 1)。

表 1 两组患者一般基线资料比较

| 组别 | CAG 组 (n=59) | CAG-caFFR 组 (n=63) | χ^2 / t 值 | P 值 |
|-------------------------|-------------------|-----------------------|----------------|-------|
| 年龄 (岁) | 61.5 \pm 9.0 | 60.3 \pm 7.2 | 0.658 | 0.419 |
| 性别 (男 / 女) | 34/25 | 40/23 | 0.439 | 0.508 |
| 危险因素 | | | | |
| BMI(kg/m ²) | 25.9 \pm 4.4 | 25.1 \pm 3.7 | 1.213 | 0.228 |
| 吸烟 [n(%)] | 25(42.4) | 28(44.4) | 0.053 | 0.818 |
| 高血压 [n(%)] | 39(66.1) | 43(68.3) | 0.064 | 0.800 |
| 糖尿病 [n(%)] | 14(23.7) | 13(20.6) | 0.169 | 0.681 |
| 高脂血症 [n(%)] | 30(50.9) | 26(41.3) | 1.126 | 0.289 |
| HGB(g/L) | 138.1 \pm 15.8 | 140.5 \pm 15.3 | 0.852 | 0.396 |
| FPG(mmol/L) | 6.1 \pm 1.9 | 6.6 \pm 2.6 | 1.133 | 0.260 |
| UA(mmol/L) | 332.4 \pm 100.9 | 339.3 \pm 99.1 | 0.381 | 0.704 |
| Scr(μ mol/L) | 68.8 \pm 15.9 | 69.85 \pm 20.3 | 0.323 | 0.747 |
| LVEF(%) | 61.2 \pm 5.5 | 59.6 \pm 4.7 | 1.815 | 0.072 |
| 用药情况 | | | | |
| ACEI/ARB[n(%)] | 29(49.2) | 30(47.6) | 0.029 | 0.866 |
| 抗血小板药物 [n(%)] | 59(100) | 63(100) | — | — |
| β 受体阻滞剂 [n(%)] | 43(72.9) | 36(57.1) | 3.307 | 0.069 |
| CCB[n(%)] | 27(45.8) | 24(38.1) | 0.736 | 0.391 |
| 他汀 [n(%)] | 57(96.6) | 60(95.2) | 0.006 | 0.940 |
| 硝酸酯和其它冠脉血管扩张剂 [n(%)] | 26(44.1) | 29(46.0) | 0.048 | 0.828 |

注: BMI= 体重指数; HGB= 血红蛋白; FPG= 空腹血糖; UA= 尿酸; Scr= 血清肌酐; LVEF= 左心室射血分数; ACEI= 血管紧张素转换酶抑制剂; ARB= 血管紧张素 II 受体拮抗剂; CCB= 钙通道阻滞剂

2.2 术中所见两组靶血管病变部位数目、病变类型及病变血管数比较

两组患者冠脉血管及造影结果显示: CAG-caFFR 组共 63 例患者, 涉及 96 处病变, 对 caFFR > 0.8 的患者进行个体化药物治疗, 并选择暂不进行或推迟冠状动脉支架植入; 对 caFFR ≤ 0.8 的患者即刻进行 PCI 治疗, 随后再次行

caFFR 检测, 如果 caFFR 值 < 0.9 , 则结合 TIMI 血流分级及影像学检查结果, 综合评估患者是否存在支架膨胀不全或贴壁不良等因素。若存在上述问题, 则进行支架内后扩张, 并持续检测 caFFR, 直至 caFFR 值 > 0.9 后结束 PCI 手术。在 CAG 组中, 59 例患者根据稳定型心绞痛 (SAP) 治疗指南, 对符合冠脉血运重建指征的患者实施 PCI 治疗。结果显示, 共有 18 例患者在 21 处病变中进行了冠状动脉支架植入, 植入了 24 枚支架。两组患者在手术前后均进行了床旁心电图检查, 术后检测心肌坏死标志物, 并统计了两组患者的冠状动脉靶血管病变部位数目、类型及血管数量, 结果显示两组之间无显著统计学差异 ($P > 0.05$)。(见表 2)。

表 2 冠脉造影结果

| 组别 | CAG 组 | CAG-caFFR 组 | χ^2 值 | P 值 |
|-------|----------|-------------|------------|-------|
| 病变靶血管 | | | | |
| LM | 0(0) | 2(2.1) | — | — |
| LAD | 50(53.2) | 45(46.9) | 0.758 | 0.384 |
| LCX | 17(18.1) | 26(27.1) | 2.196 | 0.138 |
| RCA | 27(28.7) | 23(24.0) | 0.556 | 0.456 |
| 病变类型 | | | | |
| A 型病变 | 36(38.3) | 34(35.4) | 0.169 | 0.681 |
| B 型病变 | 32(34.0) | 33(34.4) | 0.002 | 0.962 |
| C 型病变 | 26(27.7) | 29(30.2) | 0.150 | 0.699 |
| 病变血管数 | | | | |
| 单支病变 | 28 | 21 | 2.529 | 0.112 |
| 双支病变 | 18 | 20 | 0.022 | 0.883 |
| 三支病变 | 13 | 22 | 2.473 | 0.116 |

注: LM= 左主干; LAD= 左冠状动脉前降支; LCX= 左冠状动脉回旋支; RCA= 右冠状动脉

2.3 术后 12 个月内不良心血管事件 (MACE) 及复发心绞痛发生率情况比较

表 3 MACE 及再发心绞痛发生率情况

| 组别 | CAG 组 | CAG-caFFR 组 | χ^2 值 | P 值 |
|---------------|----------|-------------|------------|---------|
| 例数 | 59 | 63 | — | — |
| MACE[n(%)] | 17(27.1) | 6(7.9) | 7.410 | 0.007** |
| 急性心肌梗死 [n(%)] | 3(5.1) | 1(1.6) | 0.331 | 0.565 |
| 再次血运重建 [n(%)] | 14(22.0) | 5(6.4) | 5.779 | 0.016* |
| 心源性猝死 [n(%)] | 0 | 0 | — | — |
| 再发心绞痛 [n(%)] | 19(30.5) | 9(14.3) | 4.382 | 0.036* |

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

术后随访 12 个月结果显示: 两组患者均无心源性死亡, CAG 组发生 MACE 17 例, 其中再次血运重建 14 例 (PCI: 12 例, CABG: 2 例)、非致死性急性心肌梗死 3 例、

随访期间至少发生一次心绞痛 19 例；CAG+caFFR 组发生 MACE 6 例，再次血运重建 5 例（PCI：5 例）、非致死性急性心肌梗死 1 例、随访期间至少发生一次心绞痛 9 例。CAG+caFFR 组的再次血运重建和再发心绞痛发生率显著低于 CAG 组（ $P<0.05$ ），CAG 组的 MACE 发生率为 27.1%，CAG+caFFR 组的 MACE 发生率为 5.0%，差异具有显著的统计学意义（ $P<0.01$ ），而非致死性急性心肌梗死在两组间差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。（见表 3）。

2.4 CAG-caFFR 组冠脉造影及 QCA 结果

CAG-caFFR 组患者冠脉血管及造影结果显示：caFFR 值 > 0.8 组与 ≤ 0.8 组在病变靶血管，病变类型及病变血管数等方面相似，且 QCA 检测结果在参考血管直径方面，均无统计学差异。但与 caFFR > 0.8 组相比，caFFR ≤ 0.8 组的血管造影狭窄包括直径狭窄和最小管腔直径更严重。（见表 4）。

表 4 CAG-caFFR 组冠脉造影及 QCA 结果

| | caFFR > 0.8 | caFFR ≤ 0.8 | χ^2 (F) 值 | P 值 |
|-------------|----------------|------------------|----------------|-----------|
| 病变靶血管 | | | | |
| LM | 2(2.7) | 0 | — | — |
| LAD | 35(47.9) | 10(43.5) | 0.140 | 0.708 |
| LCX | 20(27.4) | 6(26.1) | 0.015 | 0.902 |
| RCA | 16(21.9) | 7(30.4) | 0.696 | 0.404 |
| 病变类型 | | | | |
| A 型病变 | 21(43.8) | 13(27.1) | 2.915 | 0.088 |
| B 型病变 | 15(31.3) | 18(37.5) | 0.416 | 0.519 |
| C 型病变 | 12(25.0) | 17(35.4) | 1.235 | 0.266 |
| 病变血管数 | | | | |
| 单支病变 | 14 | 4 | 0.020 | 0.888 |
| 双支病变 | 18 | 2 | 2.066 | 0.151 |
| 三支病变 | 16 | 9 | 3.395 | 0.065 |
| QCA | | | | |
| 参考血管直径 (mm) | 2.5 \pm 0.4 | 2.5 \pm 0.5 | 0.000 | 1.000 |
| 直径狭窄 (%) | 45.8 \pm 9.3 | 54.9 \pm 9.5 | 4.072 | < 0.001 |
| 最小管腔直径 (mm) | 1.6 \pm 0.3 | 1.2 \pm 0.2 | 5.978 | < 0.001 |

注：LM= 左主干；LAD= 左冠状动脉前降支；LCX= 左冠状动脉回旋支；RCA= 右冠状动脉；QCA = 定量冠状动脉造影

2.5 术后 12 个月内 CAG-caFFR 组 MACE 及再发心绞痛发生率情况比较

两组均无心源性死亡。CAG-caFFR-PCI 组发生 MACE 1 例，其中再次血运重建 1 例、随访期间至少发生一次心绞痛 2 例；CAG-caFFR-药物组发生 MACE 5 例，再次血运重建 4 例（PCI：4 例）、非致死性急性心肌梗死 1 例、随访期间至少发生一次心绞痛 7 例。两组 MACE 及再发心绞痛差异无统计学意义（ $P>0.05$ ）。（见表 5）

表 5 CAG-caFFR 组 MACE 及再发心绞痛发生率

| 组别 | CAG-caFFR- 药物 | CAG-caFFR- PCI | χ^2 值 | P 值 |
|---------------|---------------|----------------|------------|-------|
| 例数 | 48 | 15 | — | — |
| MACE[n(%)] | 5(10.4) | 1(6.7) | 0.005 | 0.735 |
| 急性心肌梗死 [n(%)] | 1 | 0 | — | — |
| 再次血运重建 [n(%)] | 4(6.3) | 1(6.7) | 0.115 | 0.943 |
| 心源性猝死 [n(%)] | 0 | 0 | — | — |
| 再发心绞痛 [n(%)] | 7(14.6) | 2(13.3) | 0.091 | 0.763 |

注：MACE= 主要不良心血管事件

3 讨论

冠状动脉粥样硬化性心脏病是当前威胁人类健康的主要疾病之一。及时诊断和有效治疗冠心病对于降低心血管事件风险、改善预后至关重要。冠状动脉粥样硬化是冠心病发生发展的病理基础。随着年龄增长，冠状动脉内膜脂质（尤其是胆固醇）沉积增多，导致内皮细胞受损，单核细胞聚集形成泡沫细胞，进而引发平滑肌细胞增殖和基质改变，最终形成纤维脂质斑块^[7]。临床上，斑块负荷及其组成和性质均与疾病预后密切相关^[8]。准确评估冠状动脉病变的解剖和功能特征对指导临床决策至关重要。

冠脉临界病变是冠脉介入决策的一大挑战。研究显示，单纯凭借冠脉解剖学狭窄来进行介入决策可能不会增加患者的获益，反而带来了出血风险及支架相关并发症风险的上升^[9]。同时，冠脉临界病变通常被视为冠心病发展的早期阶段。在这一阶段，冠状动脉虽未完全阻塞，但其狭窄已影响心肌血液供应。有研究指出，冠脉临界病变的患者在日常生活中可能不会出现典型的心绞痛症状。然而，这并不意味着其心血管事件的风险可以被轻视。尽管处于早期阶段，其潜在在危害不可忽视。临床数据也表明，在特定条件下，这种病变可能导致严重的心血管事件，如心肌梗死和猝死^[10]。因此，及时识别和正确处理冠脉临界病变，对降低冠心病患者并发

症风险具有重要的临床意义。目前，CAG 依然是诊断冠心病的标准方法。该技术能够详细显示冠状动脉腔内的狭窄程度、狭窄部位、狭窄段的长度及形态等解剖特征。然而，传统的冠脉造影在评价临界狭窄病变是否引起心肌缺血方面的准确性有限，可能会导致误诊或漏诊。研究表明^[11]，冠脉中度狭窄患者常伴有严重的心肌灌注不足，而重度狭窄患者（狭窄率超过 70%）则可能无明显缺血表现，导致过度医疗。因此，结合功能学指标进行综合评估，能更准确地判断冠脉病变的生理学意义，避免不必要的介入治疗。本研究纳入 122 例初步诊断为冠心病的患者，分为 CAG-caFFR 组（63 例）和 CAG 组（59 例），均接受冠脉造影检查，靶血管直径 $\geq 2.5\text{mm}$ 。两组间一般基线资料和冠脉造影情况无显著差异。caFFR 组内 caFFR 值 > 0.8 组与 caFFR ≤ 0.8 组在病变靶血管、类型及血管数等方面相似，保证了研究结果的可靠性。定量冠脉造影分析显示，与 caFFR > 0.8 组相比，caFFR ≤ 0.8 组的血管直径狭窄和最小管腔直径更为严重。

冠状动脉血流储备分数（FFR）于 1993 年由荷兰学者 Pijls 等^[12]首次提出，用于冠脉血流状况的功能评估，尤其在冠脉临界病变的评估中具有重要价值。研究表明：FFR 值与狭窄程度并非线性相关，但与心肌血流灌注之间存在线性相关，FFR 值每降低 0.1，心肌血流灌注量下降约 20%^[13]。在 FAME 研究^[14]中，研究者将 FFR 临界值设定为 0.80，以此作为进行 PCI 的决策标准，当 FFR 值 ≤ 0.8 时行 PCI 术。结果表明，基于 FFR 的 PCI 术在降低 MACE 发生率和减少支架植入数量方面显著优于 CAG 指导的 PCI 术，且随访结果进一步显示 FFR 指导 PCI 在长期内减少了 MACE 的发生率，显示了其长期的安全性^[15]。目前的指南建议在冠脉临界病变中使用 FFR 来指导和优化血管再通治疗^[16]。但是，目前 FFR 技术主要依赖于压力导丝，这种方法存在操作复杂、耗时较长、需要使用腺苷等血管扩张药物、术中并发症风险高以及价格昂贵等问题，导致其在临床应用效果并不理想，且在我国各大医院的使用率不足 2%^[17]。因此，临床上迫切需要一种操作简便、精准、高效的检查手段来克服这些不利因素。

caFFR 技术基于常规的血管造影图像进行血管三维重建，通过 CAG 即可获得与有创 FFR 一致的结果^[18]。Li J 等的研究显示：caFFR 诊断准确度为 95.7%，敏感性 90.4%，特异性 98.6%，且与 FFR 具有较好的相关性^[9]，可以准确

评价冠脉狭窄对远端血流的影响，了解冠状动脉狭窄与心肌缺血的关系，帮助临床医师更好地制定合理的 PCI 手术策略并验证手术效果，优化患者的预后。既往研究显示：FFR ≤ 0.80 明确心肌缺血的程度高达 90%^[20]。因此，在本研究中，针对于冠脉临界病变，我们选择 caFFR 界值为 0.80，应用冠脉造影联合 caFFR 检测的方法指导临床治疗，评估预后是否存在差异和优势。研究结果表明：CAG-caFFR 组和 CAG 组在再次血运重建及再发心绞痛发作方面具有统计学差异（ $P < 0.05$ ，分别是 6.4% vs 22.0%，14.3% vs 30.5%），总的 MACE 发生率具有显著的统计学差异（ $P < 0.01$ ，7.9% vs 27.1%）。采用 caFFR 指导的冠脉临界病变治疗能够显著降低患者发生不良心血管事件（MACE）的概率。显示了 caFFR 在制定治疗方案中的重要性，不仅有助于介入医师更准确地评估病情，还能制定个性化的诊疗计划，进而改善患者的预后。然而，需要指出的是，尽管在 MACE 发生率上观察到了明显改善，但在非致死性急性心肌梗死的发生率方面，两组之间并未表现出统计学上的显著差异（ $P > 0.05$ ，分别为 1.6% 和 5.1%）。这可能与随访时间仅为 1 年有关，未能充分体现患者的长期预后，因此导致非致死性急性心肌梗死的发生率无显著差异。在 CAG-caFFR 亚组分析中，CAG-caFFR-药物组与 CAG-caFFR-PCI 组患者术后 MACE 的发生率及心绞痛的发生率比较均无统计学意义，即 caFFR 值 > 0.8 ，选择药物治疗，caFFR 值 ≤ 0.8 选择经皮冠状动脉介入治疗（PCI），两组患者术后 MACE 发生率分别为（10.4% 和 6.7%， $P > 0.05$ ）。此外，两组间再发心绞痛发生率也表现出相似的情况（ $P > 0.05$ ，分别为 14.6% 和 13.3%）。尽管两组在 MACE 发生率和再发心绞痛方面无显著差异，但 caFFR 指导下的治疗策略可能更符合个体化治疗原则，从而在长期预后中显示出优势。

综上所述，对于冠状动脉临界病变患者，基于 caFFR 指导的 PCI 能够显著改善患者预后，降低 MACE 发生风险。caFFR 可作为 MACE 的独立预测因子，其诊断界值为 0.80，能够较好地地区分功能性病变与非功能性病变。与单纯 CAG 相比，caFFR 检查对冠状动脉临界病变具有更高的诊断价值。在日常临床实践中，常规应用 caFFR 技术评估冠状动脉临界病变的功能学意义，为精准介入治疗决策提供了关键指导，进一步提升了冠心病患者的治疗成功率。因此，基于 caFFR 的治疗策略展现出广泛的临床应用潜力，值得推广应用。

参考文献:

- [1] 丁浩, 施有为, 肖建强, 等. 血流储备分数在冠状动脉临界病变治疗决策中的应用价值 [J]. 中国心血管病研究. 2019;17(07):611-614.
- [2] Hou C, Lu Y, Ma Y, et al. Investigation of the predictive value of a novel algorithm based on coronary CT angiography regarding fractional flow reserve and revascularization in patients with stable coronary artery disease[J]. Heart and Vessels. 2024;39(3):195-205.
- [3] 吴小雷. 血管内超声及血流储备分数在冠脉介入治疗中的应用 [D]. 皖南医学院, 2019.
- [4] 李锦州, 黄燕丽. 血流储备分数在冠状动脉临界病变介入治疗中的指导价值 [J]. 实用检验医师杂志. 2023;15(03):229-233.
- [5] 梁广柱. 冠心病临界病变介入治疗中应用冠状动脉造影联合血流储备分数的效果 [J]. 临床合理用药杂志. 2019;12(08):3-4.
- [6] Mejia-Renteria H, Nombela-Franco L, Paradis J-M, et al. Angiography-based quantitative flow ratio versus fractional flow reserve in patients with coronary artery disease and severe aortic stenosis[J]. EuroIntervention. 2020;16(4):e285-e292.
- [7] Stone PH, Libby P, Boden WE. Fundamental pathobiology of coronary atherosclerosis and clinical implications for chronic ischemic heart disease management—the plaque hypothesis: a narrative review. JAMA Cardiol. 2023;8(2):192-201.
- [8] Lee JM, Choi KH, Koo B-K, et al. Prognostic implications of plaque characteristics and stenosis severity in patients with coronary artery disease[J]. Journal of the American College of Cardiology. 2019;73(19):2413-2424.
- [9] Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR, et al. Initial invasive or conservative strategy for stable coronary disease[J]. New England Journal of Medicine. 2020;382(15):1395-1407.
- [10] Sarraju A, Nissen SE. Atherosclerotic plaque stabilization and regression: a review of clinical evidence[J]. Nature Reviews Cardiology. 2024:1-11.
- [11] J Xue JL, D Sun, L Sheng, Y Gong, D Wang, S Zhang, Y Zou, J Shi, W Xu, M An, C Dai... Functional evaluation of intermediate coronary lesions with integrated computed tomography angiography and invasive angiography in patients with stable coronary artery disease[J]. Journal of translational internal medicine. 2022;10(3):255-263.
- [12] Pijls NH. Fractional flow reserve to guide coronary revascularization[J]. Circulation Journal. 2013;77(3):561-569.
- [13] Shah NR, Pierce JD, Kikano EG, Rahnamai-Azar AA, Gilkeson RC, Gupta A. CT Coronary angiography fractional flow reserve: new advances in the diagnosis and treatment of coronary artery disease[J]. Current Problems in Diagnostic Radiology. 2021;50(6):925-936.
- [14] Tonino PA, Fearon WF, De Bruyne B, et al. Angiographic versus functional severity of coronary artery stenoses in the FAME study: fractional flow reserve versus angiography in multivessel evaluation[J]. Journal of the American College of Cardiology. 2010;55(25):2816-2821.
- [15] Adjedj J, Morelle JF, Saint Etienne C, et al. Clinical impact of FFR - guided PCI compared to angio - guided PCI from the France PCI registry[J]. Catheterization Cardiovascular Interventions. 2022;100(1):40-48.
- [16] 陈韵岱, 王建安, 等. 中国冠状动脉血流储备分数测定技术临床路径专家共识 [J]. 中国介入心脏病学杂志. 2019;27(03):121-133.
- [17] Scoccia A, Tomaniak M, Neleman T, Groenland FT, Plantés ACZd, Daemen J. Angiography-based fractional flow reserve: state of the art[J]. Current cardiology reports. 2022;24(6):667-678.
- [18] Yang G, Li L, Peng X, et al. Accuracy and Reproducibility of Coronary Angiography-Derived Fractional Flow Reserve in the Assessment of Coronary Lesion Severity[J]. International Journal of General Medicine. 2023:3805-3814.
- [19] Li J, Gong Y, Wang W, et al. Accuracy of computational pressure-fluid dynamics applied to coronary angiography to derive fractional flow reserve: FLASH FFR. Cardiovascular research. 2020;116(7):1349-1356.
- [20] Tanigaki T, Emori H, Kawase Y, et al. QFR versus FFR derived from computed tomography for functional assessment of coronary artery stenosis[J]. JACC: Cardiovascular Interventions. 2019;12(20):2050-2059.

作者简介：

张润军（1978—），性别：男，民族：汉族，籍贯：云南建水，学历：博士研究生，单位：中国人民解放军联勤保障部队第926医院，职称：副主任医师，研究方向：冠心病基础与临床。

基金项目：

学科建设项目 926YY22XK12。