

# 基于冠状动脉 CT 血管造影的无创血流储备分数 评估冠状动脉病变的研究

罗振立

(运城第一医院心内科, 山西 运城 044099)

**摘要:** **目的** 探讨基于冠状动脉 CT 血管造影 (CCTA) 的无创血流储备分数 (FFR<sub>CT</sub>) 在评估冠状动脉病变中的价值, 以期为临床治疗冠心病, 改善患者预后提供依据。**方法** 回顾性分析 2019 年 4 月至 2020 年 4 月于运城第一医院行 CCTA 检查且结果显示为一支或多支冠状动脉病变的 100 例患者的临床资料, 依据患者后续评估方式将其分为冠状动脉造影 (CAG) 组 (接受 CAG 检查, 40 例) 和 FFR<sub>CT</sub> 组 (接受 FFR<sub>CT</sub> 检查, 60 例)。比较 CAG 和 FFR<sub>CT</sub> 对心肌缺血病变靶血管和病变血管数的检查结果, 并以冠状动脉血流储备分数 (FFR) 检查作为金标准, 比较 CAG、FFR<sub>CT</sub> 检查心肌缺血病变的诊断效能。**结果** 两组患者缺血病变靶血管 (前降支、回旋支及右冠) 和病变血管数 (单支、双支及三支病变) 检查结果比较, 差异均无统计学意义 (均  $P>0.05$ ); 以 FFR 检查作为金标准, CAG 检查 40 例冠状动脉病变患者, 其中 36 例确诊, 2 例误诊, 1 例漏诊; FFR<sub>CT</sub> 检查 60 例冠状动脉病变患者, 其中 48 例确诊, 0 例误诊, 1 例漏诊; CAG 检查 52 支缺血病变血管确诊, 2 支误诊, 11 支漏诊; FFR<sub>CT</sub> 检查 79 支缺血病变血管确诊, 0 支误诊, 1 支漏诊; 以患者例数为单位, FFR<sub>CT</sub> 检查的特异度显著高于 CAG 检查, 阳性检出率显著低于 CAG 检查 (均  $P<0.05$ ); 但两种检查方式的准确度和灵敏度比较, 差异均无统计学意义 (均  $P>0.05$ ); 以血管支数为单位, FFR<sub>CT</sub> 检查的准确度和灵敏度均显著高于 CAG 检查 (均  $P<0.05$ ); 但两种检查方式的阳性检出率和特异度比较, 差异均无统计学意义 (均  $P>0.05$ )。**结论** FFR<sub>CT</sub> 对冠状动脉病变的诊断效能优于 CAG 检查, 可指导冠心病的临床治疗。

**关键词:** 冠状动脉病变; 冠状动脉 CT 血管造影; 冠状动脉造影; 无创血流储备分数

**中图分类号:** R543.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2096-3718.2022.10.0109.04

冠心病属于临床中一种较为常见的心血管疾病, 中老年患者是冠心病的高发人群, 常见慢性闭塞病变、钙化、弥漫性、多支、多处病变等特点。冠状动脉缺血的评估在冠心病的诊治中具有重要意义, 目前临床上常用冠状动脉 CT 血管造影 (CCTA) 和冠状动脉造影 (CAG) 从解剖学角度判断病变狭窄, 两者能够在一定程度上对冠心病患者的血管狭窄程度、病变位置, 以及累及范围等方面作出判断<sup>[1]</sup>。然而, 在解剖学上严重狭窄的冠状动脉病变与其造成的心肌缺血间并无绝对的相关性, 相比解剖学上管腔的狭窄程度, 心肌血流灌注更能准确评价和预测冠心病的进展与预后<sup>[2]</sup>。对心肌缺血的病变行经皮冠状动脉介入治疗 (PCI) 可使患者受益, 但对无心肌缺血病变行 PCI, 不仅无益, 甚至有害, 并且加重患者医疗费用的负担。冠状动脉血流储备分数 (FFR) 是目前诊断冠状动脉狭窄病变引起血流动力学异常的金标准, 其能够评估冠状动脉狭窄的功能学指标, 准确识别临界病变 (狭窄程度在 50%~70%) 的心肌缺血风险, 但由于 FFR 属于有创操作, 且辐射剂量大, 检查时需要扩血管药物辅助, 使其难以普及<sup>[3]</sup>。随着医学技术的发展, 无创血流储备分数 (FFR<sub>CT</sub>) 技术逐渐受到临床的重视, 其作为一种新颖的无创检查方式, 利

用 CCTA 影像数据可计算得出模拟 FFR 值, 不用改变 CCTA 参数, 无需额外影像, 也无需额外静脉注射药物, 即可评价冠状动脉狭窄病变的血流动力学变化, 对于特异性的缺血病灶有着显著的评估价值, 能够在一定程度上弥补 CAG 无法准确评估心肌缺血程度的不足<sup>[4-5]</sup>。本研究旨在探讨 FFR<sub>CT</sub> 评估在冠状动脉病变患者中的指导作用, 现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 回顾性分析 2019 年 4 月至 2020 年 4 月运城第一医院行 CCTA 检查且结果显示为一支或多支冠状动脉病变的 100 例患者的临床资料, 依据患者后续评估方式将其分为 CAG 组 (接受 CAG 检查, 40 例) 和 FFR<sub>CT</sub> 组 (接受 FFR<sub>CT</sub> 检查, 60 例)。CAG 组患者中男性 21 例, 女性 19 例; 年龄 52~78 岁, 平均 (65.76±5.25) 岁; 合并高血压 26 例, 合并糖尿病 23 例。FFR<sub>CT</sub> 组患者中男性 32 例, 女性 28 例; 年龄 54~76 岁, 平均 (65.48±5.63) 岁; 合并高血压 45 例, 合并糖尿病 32 例。两组患者一般资料比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 组间具有可比性。纳入标准: CCTA 检查显示存在非严重钙化斑块, 直径  $\geq 1.5$  mm, 且至少存在 1 处血管狭窄率大于 50%; 无

既往冠状动脉移植、心肌梗死史者等。排除标准:CCTA检查存在严重伪影、错位及噪声等影响图像质量和分辨率的因素或显示冠状动脉起源异常者;恶性肿瘤者;临床资料不完整者等。本研究经院内医学伦理委员会批准。

## 1.2 检查方法

**1.2.1 FFR<sub>CT</sub> 检测** 采用64排能谱CT(美国GE公司,型号:Lightspeed 64)行CCTA检查,检查前4h禁饮、禁食,心率较快者舌下含服硝酸甘油0.5mg,在患者心率低于70次/min时进行检测,使用12G静脉留置针经肘静脉建立静脉通路后,将50mL碘海醇注射液静脉推注到患者体内,推注速度为3.0mL/s,继而使用0.9%氯化钠溶液40mL进行冲洗,患者处于仰卧位,扫描范围:自气管隆突下1cm至心脏下缘1.5cm,设置扫描参数:管电压120KV,管电流450mA,层厚0.6mm,间距0.5mm,扫描速度0.3s/圈,扫描时间5~9s,得到冠状动脉显影,处理所获取的患者冠状动脉图像,采用多平面重组、曲面重组、容积再现等技术对冠状动脉与其分支进行三维影像重组,将患者的CCTA所有数据传至中心实验室进行FFRCT仿真计算(北京欣方悦医疗科技有限公司)获得FFR<sub>CT</sub>值,以FFR<sub>CT</sub>≤0.8为缺血病变的判定标准<sup>[6]</sup>。

**1.2.2 CAG 检查** 采用血管造影机(德国西门子,型号:Artis zee III),选择碘普罗胺造影剂,用量30mL,采用标准Judkins法经桡动脉或股动脉途径实施CAG,应用6F造影导管进行非离子型对比剂注射,进行多体位投照,观察冠状动脉病变情况。CAG判定缺血病变标准:其中至少1支主要血管狭窄程度≥70%或对应主要分支出现2支或2支以上狭窄程度≥70%判定为缺血病变,则建议实施PCI,反之则为阴性<sup>[5]</sup>。

**1.2.3 FFR 检查** CCTA检查发现冠状动脉病变血管后,根据冠状动脉解剖选择合适的引导导管,开启FFR测量系统(深圳北芯生命科技有限公司),将引导导管送到冠状动脉口,经导管置入压力导丝,将压力导丝头端3cm处的压力感受器刚好暴露出指引导管开口处,验证并校准经指引导管所测压力与压力导丝所测压力,使两者压力相等,推送压力导丝使距导丝头端3cm处的压力感受器置

于狭窄病变处的远端,开始测量前1min,通过指引导管向冠状动脉内注入硝酸甘油200μg,使用18G针头经肘正中静脉推注三磷酸腺苷,作为微循环扩张诱导药物,左冠状动脉注射剂量为20~60μg/次,右冠状动脉注射剂量为15~40μg/次,外周静脉滴注速度为140μg/(kg·min),时间6min,诱发冠状动脉最大充血后应用压力导丝读取冠状动脉病变的FFR值。FFR≤0.8为缺血病变的判定标准<sup>[7]</sup>。

**1.3 观察指标** ①比较CAG和FFR<sub>CT</sub>的检查缺血病变的结果,包括病变靶血管(前降支、回旋支及右冠)和病变血管数(单支、双支及三支病变)。②分别以患者例数和血管支数为单位,比较CAG、FFR<sub>CT</sub>及FFR检查心肌缺血病变的检测结果,并计算阳性检出率,阳性检出率=诊断阳性例数/总例数×100%。③分别以患者例数和血管支数为单位,比较CAG、FFR<sub>CT</sub>对心肌缺血病变的诊断效能,包括准确度、灵敏度及特异度,准确度=(真阳性+真阴性)例数/总例数×100%;灵敏度=真阳性例数/(真阳性+假阴性)例数×100%;特异度=真阴性例数/(假阳性+真阴性)例数×100%。④典型病例CAG检查和FFR<sub>CT</sub>检查图像特征。

**1.4 统计学方法** 采用SPSS 20.0统计软件处理数据,计数资料以[例(%)]表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 检查结果** 两组患者缺血病变靶血管(前降支、回旋支及右冠)和缺血病变血管数(单支、双支及三支病变)检查结果比较,差异均无统计学意义(均 $P>0.05$ ),见表1。

**2.2 缺血病变的检测结果** 以FFR检查作为金标准,CAG检查40例冠状动脉病变患者,其中36例确诊,2例误诊,1例漏诊,阳性检出率为95.00%(38/40);FFR<sub>CT</sub>检查60例冠状动脉病变患者,其中48例确诊,0例误诊,1例漏诊,阳性检出率为80.00%(48/60);经比较,FFR<sub>CT</sub>检查的阳性率显著低于CAG检查,差异有统计学意义( $\chi^2=4.485$ , $P<0.05$ ),见表2。CAG检查40例冠状动脉病

表1 两组患者缺血病变的检查结果比较

组别	例数	支数	缺血病变靶血管[支(%)]			缺血病变血管数[例(%)]		
			前降支	回旋支	右冠	单支病变	双支病变	三支病变
CAG组	40	54	34(62.96)	8(14.81)	12(22.22)	25(62.50)	10(25.00)	3(7.50)
FFR <sub>CT</sub> 组	60	79	41(51.90)	17(21.52)	21(26.58)	27(45.00)	11(18.33)	10(16.67)
$\chi^2$ 值			1.597	0.944	0.327	2.945	0.643	1.783
$P$ 值			>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

注:CAG:冠状动脉造影;FFR<sub>CT</sub>:无创血流储备分数。

变患者, 其中 52 支缺血病变血管确诊, 2 支误诊, 11 支漏诊, 阳性检出率为 80.60% (54/67), FFR<sub>CT</sub> 检查 60 例冠状动脉病变患者, 其中 79 支缺血病变血管确诊, 0 支误诊, 1 支漏诊, 阳性检出率为 87.78% (79/90), 差异无统计学意义 ( $\chi^2=1.529$ ,  $P>0.05$ ), 见表 3。

表 2 以患者例数为单位 CAG 与 FFR<sub>CT</sub> 对缺血病变的  
检查结果比较 (例)

检查方式	FFR 检查		合计
	阳性	阴性	
CAG 检查			
阳性	36	2	38
阴性	1	1	2
合计	37	3	40
FFR <sub>CT</sub> 检查			
阳性	48	0	48
阴性	1	11	12
合计	49	11	60

注: FFR: 冠状动脉血流储备分数。

表 3 以血管支数为单位 CAG 与 FFR<sub>CT</sub> 对缺血病变的  
检查结果比较 (支)

检查方式	FFR 检查		合计
	阳性	阴性	
CAG 检查			
阳性	52	2	54
阴性	11	2	13
合计	63	4	67
FFR <sub>CT</sub> 检查			
阳性	79	0	79
阴性	1	10	11
合计	80	10	90

2.3 诊断效能 以患者例数为单位, FFR<sub>CT</sub> 检查的特异度显著高于 CAG 检查, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ ); 但两种检查方式的准确度和灵敏度比较, 差异均无统计学意义 (均  $P>0.05$ ), 见表 4。以血管支数为单位, FFR<sub>CT</sub> 检查的准确度和灵敏度均显著高于 CAG 检查, 差异均有统计学意义 (均  $P<0.05$ ); 但两种检查方式的特异度比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 见表 5。

2.4 典型病例分析 患者, 女性, 71 岁, 主因“剑突下憋闷 1 月”来院检查, 患高血压病 1 月余, 最高血压 200/130 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa), 平素口服依那普利片, 脑梗死病史 10 余年。CAG 检测显示管壁边缘清晰, 未见运动伪影, 图像噪声小, 前降支中段可见钙化斑块,

表 4 以患者例数为单位 CAG 与 FFR<sub>CT</sub> 的诊断效能比较 (%)

检查方式	准确度	灵敏度	特异度
CAG 检查	92.50(37/40)	97.30(36/37)	33.33(1/3)
FFR <sub>CT</sub> 检查	98.33(59/60)	97.96(48/49)	100.00(11/11)
$\chi^2$ 值	0.879	0.271	3.977
$P$ 值	$>0.05$	$>0.05$	$<0.05$

表 5 以血管支数为单位 CAG 与 FFR<sub>CT</sub> 的诊断效能比较 (%)

检查方式	准确度	灵敏度	特异度
CAG 检查	80.60(54/67)	82.54(52/63)	50.00(2/4)
FFR <sub>CT</sub> 检查	98.89(89/90)	98.75(79/80)	100.00(10/10)
$\chi^2$ 值	15.822	12.048	2.465
$P$ 值	$<0.05$	$<0.05$	$>0.05$

开口斑块近段, 管腔狭窄  $>50\%$ , 见图 1。患者, 女性, 58 岁, 主因“突感心前区压榨痛”来院检查, 患高血压病合并糖尿病 2 年余, 最高血压 163/115 mmHg, 平素口服硝苯地平缓释片、皮下注射胰岛素, 经无创 FFR<sub>CT</sub> 检查, 显示患者左旋支 FFR<sub>CT</sub> 值为 0.89, 右冠状动脉 FFR<sub>CT</sub> 值为 0.86, 提示为缺血病变, 见图 2。

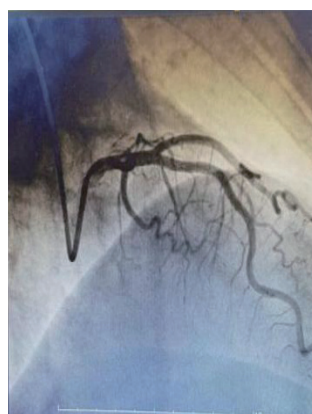


图 1 冠状动脉病变 CAG  
检查图像

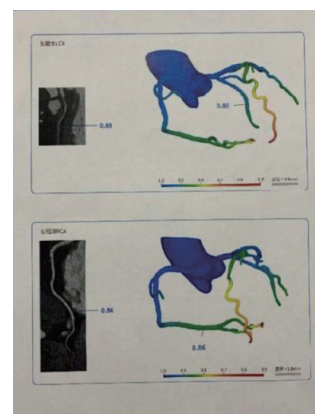


图 2 冠状动脉病变患者  
FFR<sub>CT</sub> 成像测定图

### 3 讨论

冠心病是冠状动脉粥样硬化斑块造成冠状动脉血管狭窄或阻塞, 远端的心肌血流灌注压力随之下降, 冠状动脉血流无法满足心肌代谢的需求, 从而导致心肌缺血、缺氧, 进而造成心肌细胞坏死和凋亡的疾病。冠状动脉病变患者的预后与是否有心肌缺血有一定的相关性, 若未及时发现疾病并给予患者相应的治疗, 可能会危及患者生命安全。对于缺血性病变患者, 实施血运重建治疗, 能够取得明显的效果; 而干预不足, 忽视患者的狭窄现象, 单纯给予患者药物治疗, 可能使患者发生紧急血运重建或心肌梗死的可能; 在无功能意义的狭窄病变患者中, 植入支架治疗, 可能导致支架内血栓与再狭窄



的可能,使患者出现急性心肌梗死、心绞痛及心源性猝死等不良心血管事件<sup>[8]</sup>。所以,正确评估冠状动脉病变患者是否有心肌缺血,并根据评估结果指导患者的治疗方案十分必要。

CCTA 作为一种无创的检查方法,在诊断和筛查冠状动脉病变中得到了广泛应用,其能对冠状动脉狭窄、缺血程度进行评价,且能够了解管壁斑块性质,清楚呈现冠状动脉供血区心肌密度,但由于受到患者心率、呼吸运动、图像质量及诊断医师水平的影响,往往高估或低估心肌缺血程度,出现误诊和漏诊现象。CAG 是诊断冠心病的“金标准”,该检查方法将多体位投射与二维成像技术结合,实现对狭窄病变的判断,对于冠状动脉狭窄大于 70% 的病变被认为存在心肌缺血,且通常采取 PCI 手术治疗,但由于血管的迂曲、成角、重叠等复杂情况,导致因冠状动脉的偏心性狭窄,不规则的弥漫性病变,从而低估患者的心肌缺血程度<sup>[9]</sup>。因此对疑似冠状动脉病变的患者实施单纯的冠状动脉造影检测,并不能够有效实现对患者心肌缺血情况的判定。

FFR 可提供冠状动脉病变的功能学信息,是判断冠状动脉病变是否引起心肌缺血的金标准,但因为其有创性操作,且检查费用较高等原因,限制了该检查手段在冠心病患者中的广泛应用<sup>[10]</sup>。随着医学技术的不断发展,以 FFR 为基础衍生出了一系列冠状动脉生理学检查手段,其中 FFR<sub>CT</sub> 以无创、简便、可重复测量等优势得到迅速发展。FFR<sub>CT</sub> 是一种将冠状动脉解剖与功能评估结合为一体的无创冠状动脉病变检测方法,其以计算机模拟流体力学为基础,通过 CCTA 原始图像提取冠状动脉树,利用图像识别与分割技术对冠状动脉解剖结构以及左心室心肌质量进行处理,进一步获取狭窄冠状动脉在静息及药物作用下的血流和压力,最终经过计算机运算,得到冠状动脉内任意位置的模拟 FFR 值,为冠状动脉功能提供相应的数据,有效弥补了 CAG 检查的不足<sup>[11]</sup>。本研究中,两组患者缺血病变靶血管(前降支、回旋支及右冠)和病变血管数(单支、双支及三支病变)检查结果比较,差异均无统计学意义,但以患者例数为单位,FFR<sub>CT</sub> 检查的特异度显著高于 CAG 检查,阳性检出率显著低于 CAG 检查;FFR<sub>CT</sub> 检查的阳性检出率更低,分析其原因可能为,经 CAG 显示的冠状动脉狭窄 >70% 的病变,有一部分不会诱发心肌缺血。而以血管支数为单位,FFR<sub>CT</sub> 检查的准确度和灵敏度均显著高于 CAG 检查,表明 FFR<sub>CT</sub> 对冠状动脉病变的诊断效能优于 CAG 检查,可指导冠状动脉病变治疗。

虽然 FFR<sub>CT</sub> 的应用为医师提供了足够的疾病信息,然而,通过传统 CCTA 图像提取 FFR<sub>CT</sub> 的检测技术仍存在

一定局限性,首先,其检测需要建立在良好的 CCTA 图像质量上,图像质量差的 CCTA 可能影响分析结果甚至无法进行 FFR<sub>CT</sub>;其次,通过计算机流体力学所建立的冠状动脉最大充血模型不能完全模拟血管的舒张状态;再次,求解冠状动脉病变处的稳态压力值时,冠状动脉被模拟为不可压缩的刚性管道,而真实的冠状动脉具有一定的弹性,且血流在跨越病变后会发生压力回声现象,可能影响 FFR<sub>CT</sub> 值的测定;最后,在 FFR<sub>CT</sub> 模型建立的过程中,未考虑左心室肥厚、侧枝循环及既往心肌梗死等因素对 FFR<sub>CT</sub> 值的影响<sup>[12]</sup>。

综上,FFR<sub>CT</sub> 对冠状动脉病变的诊断效能优于 CAG 检查,可指导冠状动脉病变治疗,值得临床推广应用。

## 参考文献

- [1] 陈建平. CT 冠状动脉成像与冠状动脉造影诊断冠心病的临床价值对照分析[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2017, 15(1): 49-51.
- [2] 陈俊, 张璋, 于铁链. 冠心病诊断: 从解剖成像到功能评价[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2017, 25(3): 166-168.
- [3] 安梦楠, 李悦, 薛竟宜. 冠状动脉狭窄病变功能学评估新进展[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2018, 26(11): 638-640.
- [4] 王彤宁, 刘欣, 杨琳, 等. FFR<sub>CT</sub> 对 CCTA 判定冠状动脉临界狭窄病变血流动力学变化的分析[J]. 国际医学放射学杂志, 2018, 41(3): 268-271, 312.
- [5] 颜红兵, 马长生, 霍勇. 临床冠心病诊断与治疗指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010: 134-136.
- [6] 李梦梦, 玉献鹏, 杨帮国, 等. 基于冠状动脉 CT 造影的无创血流储备分数在冠心病诊断中应用的初探[J]. 心肺血管病杂志, 2017, 36(8): 685-691.
- [7] 席新龙, 王君. 冠状动脉造影与血流储备分数在稳定型冠心病患者介入治疗中的效果[J]. 实用临床医药杂志, 2018, 22(15): 29-32.
- [8] 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(7): 611-614.
- [9] 刘鹏, 孙昊洋, 姜顺. 血流储备分数 CT 成像预测冠状动脉临界病变患者功能性心肌缺血的临床价值[J]. 临床误诊误治, 2019, 32(5): 67-72.
- [10] 吕涛, 王凯, 王新明. 血流储备分数测定对冠心病介入治疗及预后的临床价值[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2021, 19(11): 1884-1887.
- [11] 王洁, 方向明. CT 无创血流储备分数的原理及其临床应用进展[J]. 放射学实践, 2020, 35(5): 687-691.
- [12] 姚翔, 邢波. 无创血流储备分数临床应用的研究进展[J]. 中南大学学报(医学版), 2019, 44(9): 1078-1082.