

论 著

冠状动脉CT血管造影定量参数联合血清NT-proBNP、sdLDL-C对冠状动脉粥样硬化性心脏病患者治疗后主要心血管不良事件的预测价值*

金亚东^{1,*} 王俊青¹ 王珂²

1.周口市中心医院CT室(河南 周口 466000)

2.周口市中心医院心内科

(河南 周口 466000)

【摘要】 目的 探讨冠状动脉CT血管造影(CCTA)定量参数与联合血清N末端脑利钠肽原(NT-proBNP)、小而密低密度脂蛋白胆固醇(sdLDL-C)对冠状动脉粥样硬化性心脏病(简称冠心病)患者经皮冠状动脉介入(PCI)术后主要心血管不良事件(MACE)的预测价值。**方法** 招募2019年2月至2021年2月我院收治的248例拟行PCI的冠心病患者,术前行CCTA检测获得血流储备分数(FFRCT)并检测血清NT-proBNP、sdLDL-C水平。术后随访1年,统计随访期间MACE发生情况,多因素Logistic回归分析影响冠心病患者PCI术后发生MACE的危险因素,绘制受试者工作特征曲线(ROC)分析FFRCT联合NT-proBNP、sdLDL-C预测冠心病患者PCI术后发生MACE的价值。**结果** 248例患者中随访失联2例,余246例患者发生MACE 62例(MACE组),未发生MACE 184例(非MACE组)。MACE组FFRCT低于非MACE组($P<0.05$),血清NT-proBNP、sdLDL-C水平高于非MACE组($P<0.05$)。多因素Logistic回归分析结果显示年龄、冠脉病变支数3支及以上、术前TIMI 0级、高NT-proBNP、高sdLDL-C是冠心病患者PCI术后发生MACE的危险因素($P<0.05$, $OR>1$),FFRCT是冠心病患者PCI术后发生MACE的保护因素($P<0.05$, $OR<1$)。联合FFRCT、NT-proBNP和sdLDL-C预测冠心病患者PCI术后发生MACE的曲线下面积为0.854,高于单独指标预测的0.742、0.726、0.711。**结论** 冠心病PCI术后MACE患者CCTA参数FFRCT降低,血清NT-proBNP、sdLDL-C水平升高,且与冠心病患者PCI术后发生MACE相关,联合FFRCT、NT-proBNP和sdLDL-C在冠心病患者PCI术后MACE预测中具有较高价值。

【关键词】 冠状动脉粥样硬化性心脏病;
主要心血管不良事件;冠状动脉CT血管
造影; NT-proBNP; sdLDL-C; 预测价值

【中图分类号】R541.4

【文献标识码】A

【基金项目】河南省医学科技攻关计划项目
(201900645)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.12.023

Prognostic Value of Quantitative Parameters of Coronary CT Angiography Combined with Serum NT-proBNP and sdLDL-C for Major Cardiovascular Adverse Events in Patients with Coronary Atherosclerotic Heart Disease after Treatment*

JIN Ya-dong^{1,*}, WANG Jun-qing¹, WANG Ke².

1.CT Room, Zhoukou Central Hospital, Zhoukou 466000, Henan Province, China

2.The Third Department of Cardiology, Zhoukou Central Hospital, Zhoukou 466000, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the value of quantitative parameters of coronary CT angiography (CCTA) combined with serum N-terminal probrain natriuretic peptide (NT-proBNP) and small dense low-density lipoprotein cholesterol (sdLDL-C) in predicting major adverse cardiovascular events (MACE) in patients with coronary atherosclerotic heart disease (CHD) after percutaneous coronary intervention (PCI). **Methods** 248 patients with coronary heart disease who were expected to undergo PCI admitted to our hospital from February 2019 to February 2021 were recruited. Blood flow reserve fraction (FFRCT) was obtained by CCTA before surgery, and serum levels of NT-proBNP and sdLDL-C were detected. After 1 year of postoperative follow-up, the incidence of MACE during the follow-up period was statistically analyzed, and the risk factors of MACE in patients with coronary heart disease after PCI were analyzed by multivariate Logistic regression. Receiver operating characteristic curve (ROC) was drawn to analyze the value of FFRCT combined with NT-proBNP and sdLDL-C in predicting the occurrence of MACE after PCI in patients with coronary heart disease. **Results** Of the 248 patients, 2 were lost during follow-up, and the remaining 246 patients developed MACE with 62 cases (MACE group) and did not develop MACE with 184 cases (non-MACE group). The FFRCT in the MACE group was lower than that in the non-MACE group ($P<0.05$), and the levels of serum NT-proBNP and sdLDL-C in the MACE group were higher than those in the non-MACE group ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that age, three OR more coronary artery lesions, preoperative TIMI level 0, high NT-proBNP, high sdLDL-C were the risk factors for the occurrence of MACE in patients with coronary heart disease after PCI ($P<0.05$, $OR>1$). FFRCT was a protective factor for MACE in patients with coronary heart disease after PCI ($P<0.05$, $OR<1$). Combined with FFRCT, NT-proBNP and sdLDL-C, the area under the curve of predicting MACE in patients with coronary heart disease after PCI was 0.854, which was higher than 0.742, 0.726 and 0.711 predicted by single index. **Conclusion** CCTA parameter FFRCT is decreased and serum NT-proBNP and sdLDL-C levels are increased in patients with coronary heart disease after PCI, which is correlated with the occurrence of MACE in patients with coronary heart disease after PCI. The combination of FFRCT, NT-proBNP and sdLDL-C has high value in the prediction of MACE in patients with coronary heart disease after PCI.

Keywords: Coronary Atherosclerotic Heart Disease; Major Adverse Cardiac Events; Coronary CT Angiography; NT-proBNP; psdLDL-C; Prognostic Value

经皮冠状动脉介入治疗(PCI)是冠状动脉粥样硬化性心脏病(以下简称冠心病)血运重建的重要策略,改善冠脉的血流灌注,开通狭窄的冠状动脉,提高患者生存率,但是部分患者PCI术后仍可发生管腔再狭窄、心肌缺血、心源性休克、恶性心律失常等主要心血管不良事件(MACE),严重影响PCI的远期疗效,增加再住院和死亡风险^[1]。对冠心病患者进行MACE风险评估有助于指导临床治疗和干预,改善患者预后。冠状动脉CT血管造影(CCTA)是冠心病辅助诊断的常用手段,在评估冠脉病变方面有较高的灵敏度和特异度^[2],基于CCTA定量分析获得血流储备分数(FFRCT)与冠脉病变以及狭窄程度密切相关^[3]。但是单独FFRCT评估较复杂,分析过程较长,因此需要结合检测更为便捷的指标。N末端脑利钠肽原(NT-proBNP)是心血管疾病患者预后的标志物,与心肌缺血水平、心功能以及死亡均密切相关^[4]。低密度脂蛋白胆固醇与动脉粥样硬化和心血管疾病的患病率和死亡率有关,小而密低密度脂蛋白胆固醇(sdLDL-C)在低密度脂蛋白胆固醇中最具有致动脉粥样硬化的潜力,与心血管疾病发展更为密切^[5]。本研究拟探讨CCTA定量参数FFRCT以及血清NT-proBNP、sdLDL-C与冠心病患者PCI术后MACE的关系,以期临床治疗、预防和预后预测提供参考。

1 资料与方法

1.1 临床资料 本研究已经周口市中心医院伦理委员会批准。招募2019年2月至2021年2月我院收治的248例冠心病的患者为研究对象,男154例,女94例,年龄55~79岁,平均

【第一作者】金亚东,男,主管技师,主要研究方向:医学影像诊断。E-mail: jinyadong1988@163.com

【通讯作者】金亚东

(66.65±7.85)岁，体质质量指数20~29 kg/m²，(24.53±4.01)kg/m²。基础疾病：糖尿病148例、高脂血症152例、高血压171例。

纳入标准：至少有1支主要冠状动脉血管狭窄程度超过70%；经过冠状动脉造影确诊，符合冠心病诊断标准^[6]；符合PCI手术指征；签署知情同意书。排除标准：接受冠脉旁路移植或保守治疗者；严重心功能、肝肾功能不全者；近期接受手术、器官移植患者；既往PCI治疗史；18岁以下、妊娠或哺乳期患者。

1.2 CCTA检查 所有患者PCI术前均接受CCTA检查，仪器为Aquilion One Vision 320排CT扫描仪(日本东芝公司)，准直器320×0.5mm，管旋转时间为0.5s，管电压80~120kV，管电流100~400mA，层间距0.75mm，层厚0.75mm，扫描时间10~12s，延迟时间3~5s。自适应前瞻性心电门控序列扫描技术进行轴向扫描，采集时相根据心率调整(<75次/min，在R-R间期的65%~75%采集；≥75次/min，在R-R间期的40%~50%采集，心律不齐患者采用心电图编辑处理分析，方法参考文献^[7])，扫描范围自气管隆突到膈肌，截面厚度为0.75mm。以5mL/s的速度静脉注射50mL碘比醇注射液(规格100mL：30g，法国Guerbet公司)，后用20mL盐水冲管。使用SureStart 技术触发扫描，感兴趣区域放置在降主动脉中，阈值设置为300HU。图像分析：由我院CT室两名10年从业经验的医师采用双盲法评估，图像和CCTA 数据导入后台工作站(Vitrea fX 6, Vital Images)，评估梗死相关冠状动脉的管腔狭窄程度，专用软件uCT-FFR 1.5版(上海联影医疗技术集团有限公司)计算冠状动脉狭窄远端2cm处的FFRCT，以任何FFRCT值≤0.8的病变血管为缺血性病变。

1.3 血清NT-proBNP、sdLDL-C以及常规实验室检测 所有患者PCI术前采集外周空腹静脉血3 mL注入干燥试管，待血液凝固后取上层液离心(相对离心力×700g，时间5min)获得血清标本，-80℃保存备检，2mL注入抗凝试管混匀备检。采用e 411 电化学发光分析仪(德国Roche公司)检测血清NT-proBNP水平，NT-proBNP试剂盒购自武汉赛培生物科技有限公司。采用全自动生化分析仪(AU5800)检测血清sdLDL-C、丙氨酸转移酶、尿酸、低密度脂蛋白胆固醇、天冬氨酸转移酶、总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白胆固醇水平，购自美国贝克曼库尔特公司，试剂盒购自北京赛诺利康生物技术有限公司。取抗凝试管血标本，采用全自动血细胞分析仪(BC-5000)检测血红蛋白、中性粒细胞计数、白细胞计数，购自深圳迈瑞生物医疗电子股份有限公司。TR3胶体金法检测仪(北京普析通用仪器有限责任公司)胶体金法检测心肌钙蛋白I、肌酸激酶同工酶，试剂盒购自隆基生物技术有限公司。稳豪血糖仪(美国强生公司)检测末梢血糖空腹血糖水平。

1.4 随访以及相关临床资料收集 患者出院后由两名心内科医师通过电话或门诊随访形式随访1年，统计MACE发生情况，MACE定义为紧急冠状动脉血运重建或不稳定型心绞痛、全因死亡、心肌梗死、心源性卒中^[8]。收集患者性别、饮酒史、年龄、吸烟史、体质质量指数、基础疾病、梗死相关动脉、冠脉病变支数、冠脉病变长度、置入支架数量、是否存在冠脉夹层、冠脉痉挛、实验室指标、影像指标、术前TIMI血流分级等。左室重量指数、左室射血分数通过超声心动图获得，冠脉夹层：冠状动脉造影提示冠脉内膜撕裂累及中膜，形成动脉壁真假两腔分离状态。冠脉痉挛：创伤性药物激发试验阳性^[9]。

1.5 统计学分析 SPSS 25.00进行数据分析，Kolmogorov-Smirnov法检验计量资料符合正态分布以($\bar{x} \pm s$)表示，实施t检验，偏态计量资料以M(Q1, Q3)表示，采用Wilcoxon秩和检验。以率(%)表示计数资料，实施用 χ^2 检验。多因素Logistic回归分析发生MACE的危险因素，并建立多指标联合应用的回归评估模型，采用受试者工作特征曲线(ROC)分析FFRCT联合NT-proBNP、sdLDL-C预测冠心病患者PCI术后发生MACE的价值。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结 果

2.1 MACE和非MACE组基线资料比较 248例患者中随访失联2例，余246例患者发生MACE 62例(MACE组)，未发生MACE184例(非MACE组)。MACE组年龄、糖尿病比例、高脂血症比例、置入

支架数量、冠脉病变长度、冠脉病变3支及以上比例、术前TIMI 0级比例、空腹血糖、肌酸激酶同工酶、心肌肌钙蛋白I、低密度脂蛋白胆固醇水平高于非MACE组($P<0.05$)，两组性别、体质质量指数、高血压比例、吸烟史、饮酒史、梗死相关动脉、左室射血分数、左室重量指数、尿酸、丙氨酸转移酶、天冬氨酸转移酶、白细胞计数、中性粒细胞计数、血红蛋白、高密度脂蛋白胆固醇、总胆固醇、甘油三酯、冠脉夹层、冠脉痉挛等方面比较差异无统计学意义($P>0.05$)，见表1。

表1 MACE和非MACE组基线资料

指标	MACE组 (n=62例)	非MACE组 (n=184例)	t/Z/ χ^2 值	P值
年龄(岁)	70.12±5.64	65.43±7.09	5.289	0.000
性别[例(%)]				
男	42(67.74)	112(60.87)	0.936	0.333
女	20(32.26)	72(39.13)		
体质质量指数(kg/m ²)	25.12±4.73	24.39±4.51	1.089	0.277
基础疾病[例(%)]				
糖尿病	51(82.26)	95(51.63)	18.031	0.000
高脂血症	49(79.03)	103(55.98)	10.439	0.001
高血压	46(74.19)	125(67.93)	0.857	0.355
吸烟史[例(%)]	42(67.74)	122(66.30)	0.043	0.835
饮酒史[例(%)]	38(61.29)	90(48.91)	2.846	0.092
梗死相关动脉[例(%)]				
前降支	30(48.39)	96(52.17)	0.426	0.808
回旋支	18(29.03)	53(28.80)		
右冠状动脉	14(22.58)	35(19.02)		
置入支架数量(枚)	1.69(1,4)	1.47(1,3)	2.457	0.014
冠脉病变长度(mm)	17.24±3.05	15.47±2.77	4.240	0.000
冠脉病变支数[例(%)]				
1支	13(20.97)	89(48.37)	22.907	0.000
2支	20(32.26)	61(33.15)		
3支及以上	29(46.77)	34(18.48)		
术前TIMI血流分级[例(%)]				
0级	45(72.58)	60(32.61)	30.286	0.000
1-2级	17(27.42)	124(67.39)		
左室射血分数(%)	55.71±6.35	56.58±6.92	0.874	0.383
左室重量指数(g/m ²)	115.75±8.09	115.03±8.13	0.604	0.547
空腹血糖(mmol/L)	8.45±1.82	6.43±1.27	8.100	0.000
尿酸(μmol/L)	353.47±32.63	352.02±32.68	0.302	0.763
丙氨酸转移酶(U/L)	37.85±3.71	37.15±3.26	1.411	0.160
天冬氨酸转移酶(U/L)	48.09±5.62	47.92±5.13	0.220	0.826
白细胞计数(×10 ⁹ /L)	11.12±2.65	10.66±2.71	1.162	0.246
中性粒细胞计数(×10 ⁹ /L)	7.52±2.39	7.09±1.42	1.339	0.184
肌酸激酶同工酶(IU/L)	85.35±23.16	62.14±18.47	7.161	0.000
心肌肌钙蛋白I(μg/L)	1.02±0.21	0.72±0.19	10.466	0.000
血红蛋白(g/L)	130.25±6.35	131.52±6.42	1.351	0.178
低密度脂蛋白胆固醇(mmol/L)	3.53±0.47	3.02±0.34	7.878	0.000
高密度脂蛋白胆固醇(mmol/L)	1.12±0.32	1.20±0.42	1.566	0.120
总胆固醇(mmol/L)	5.21±0.74	5.16±0.62	0.522	0.602
甘油三酯(mmol/L)	1.68±0.42	1.61±0.38	1.221	0.223
冠脉夹层[例(%)]	1(1.61)	0(0.00)	0.328	0.567
冠脉痉挛[例(%)]	2(3.23)	1(0.54)	0.991	0.320

2.2 MACE和非MACE组FFRCT、血清NT-proBNP、sdLDL-C水平比较 MACE组FFRCT低于非MACE组($P<0.05$)，血清NT-proBNP、sdLDL-C水平高于非MACE组($P<0.05$)，见表2。

表2 MACE和非MACE组FFRCT、血清NT-proBNP、sdLDL-C水平差异

组别	例数	FFRCT	NT-proBNP(pg/mL)	sdLDL-C(mmol/L)
MACE组	62	0.72±0.11	832.54±108.48	1.15±0.29
非MACE组	184	0.88±0.10	612.42±77.03	0.85±0.21
t值		10.621	14.772	7.509
P值		0.000	0.000	0.000

2.3 冠心病患者PCI术后发生MACE的多因素Logistic回归分析 建立非条件Logistic回归模型，赋值：0=非MACE，1=发生MACE，以前述单因素分析中P<0.10的因素为自变量，以逐步后退法设定α剔除=0.10，α入选=0.05。回归结果显示：年龄、冠脉病变支数3支及以上、术前TIMI 0级、高NT-proBNP、高sdLDL-C是冠心病患者PCI术后发生MACE的危险因素(P<0.05)，FFRCT是冠心病患者PCI术后发生MACE的保护因素(P<0.05)，见表3。

表3 冠心病患者PCI术后发生MACE的Logistic回归方程

因素	赋值设计	β	Se	Wald x ²	P	OR	OR 0.95CI
常数项	-	-0.049	0.022	5.072	0.024	-	-
年龄	连续数值原型输入	0.044	0.017	6.411	0.011	1.045	1.010~1.081
冠脉病变支数	0=1-2支，1=3支及以上	0.611	0.201	9.216	0.002	1.842	1.242~2.733
术前TIMI 0级	0=1-2级，1=0级	0.356	0.135	6.956	0.008	1.428	1.096~1.860
FFRCT	连续数值原型输入	-0.660	0.206	10.247	0.001	0.517	0.345~0.774
NT-proBNP	连续数值原型输入	0.008	0.002	15.593	0.000	1.008	1.004~1.012
sdLDL-C	连续数值原型输入	0.477	0.161	8.730	0.003	1.612	1.174~2.211

2.4 预测价值分析 以MACE组为阳性样本(n=62)，以非MACE组为阴性样本(n=184)，建立ROC预测分析模型，Log(P/1-P)=-0.660×FFRCT+0.008×NT-proBNP+0.477×sdLDL-C为联合应用的虚拟概率量指标，分析结果显示，FFRCT、NT-proBNP、sdLDL-C单独及联合应用预测冠心病患者PCI术后发生MACE的曲

线下面积分别为0.742、0.726、0.711、0.854，其中联合应用诊断效能很高，灵敏度、特异度、准确度均较各单独应用指标有明显提升。见表4和图1。

2.5 典型病例图像分析(图2和图3)

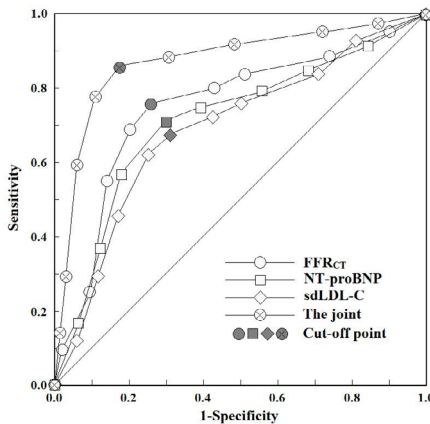


图1 ROC图

表4 预测效能分析

因素	曲线下面积(95%CI)	阈值	灵敏度	特异度	准确度	约登指数
FFRCT	0.742(0.502~0.989)	0.80	0.758	0.739	0.744	0.497
NT-proBNP	0.726(0.505~0.926)	700	0.710	0.701	0.703	0.411
sdLDL-C	0.711(0.436~0.960)	1.0	0.677	0.690	0.687	0.367
联合	0.854(0.757~0.937)	5.55	0.855	0.832	0.837	0.687

注：各阈值的量纲见表2，联合应用虚拟指标的阈值系依据该Log(P/1-P)模型计算所得。

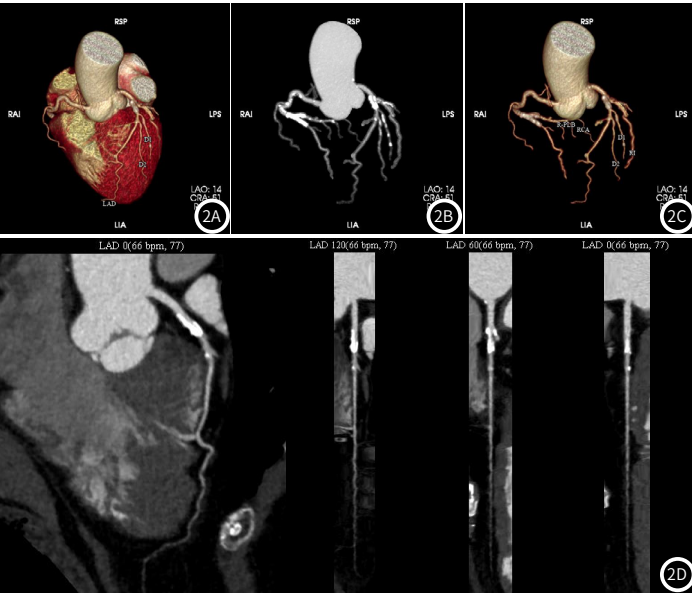


图2A-图2D 患者男，73岁，图2A-图2C示冠状动脉多发斑块，图2D为左前降支曲面重建图像，可见左前降支近段管壁可见局限性钙化斑块，管腔中重度狭窄。

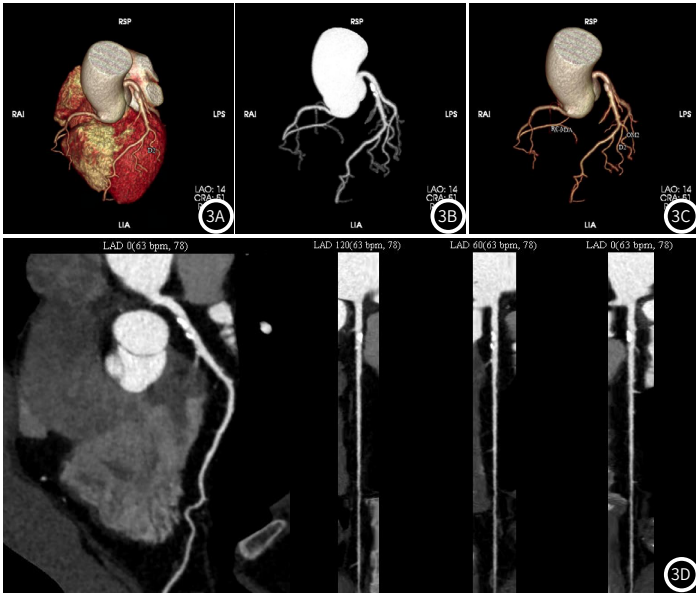


图3A-图3D 患者女，58岁，图3A-图3C示冠状动脉多发斑块，图3D为左前降支曲面重建图像，可见左前降支管壁多发局限性钙化斑块，管腔轻度狭窄。

3 讨论

冠心病是导致心血管死亡的主要原因，其特点是冠状动脉血管壁内形成动脉粥样硬化斑块导致血管狭窄或堵塞，继而引起心肌梗塞或慢性缺血，其病理学涉及由缺血缺氧、氧化应激、炎症反应、自噬、细胞凋亡、微循环障碍等^[10]。PCI是冠心病患者首选的血运重建治疗策略，随着PCI在临床的不断推广，操作者经验不断增加，加上新支架(药物洗脱支架)的出现，PCI相关并发症率显著降低，但是PCI后MACE的风险依然存在^[11]。较早识别MACE风险因素、影像学特征以及生物学标志物，并进行个体化管理，对改善患者预后十分重要。

CCTA是无创评估心脏和冠状动脉病变的非侵入性成像方式，具有灵敏度高且应用广泛的特点，随着CT采集技术和后期图像处理技术的不断提高，可快速准确定量评估冠脉狭窄程度^[12]。基于冠状动脉造影获得的FFR是评估冠状动脉狭窄的金标准，但是该方法有创、辐射危害大且费用昂贵，而基于CCTA的FFRCT测定技术无需增加额外药物和放射剂量，结合计算流体力学进行FFR无创评估，通过重建冠脉三维图像和专用软件模拟冠脉血流情况^[13]。研究显示FFRCT在评估冠状动脉疾病患者冠脉特异性缺血的方面具有较高的准确性^[14]。本研究显示FFRCT在冠心病患者PCI术后MACR评估方面也有较高价值，FFRCT是冠心病患者PCI术后MACR的保护因素，现有研究也显示FFRCT降低是冠心病患者冠脉血流阻塞和冠脉血运重建后发生不良临床结果的强预测因子^[7,13]，但是FFRCT也存在一定局限性，FFRCT计算是模拟的，不是实际状况下的冠状动脉充血状态，同时FFRCT受微血管病变、左心室肥厚、侧枝循环和既往心肌梗死的影响^[13]，另外，由于CCTA技术复杂，对操作者技术要求较高，冠状动脉在心动周期中都有不同程度的运动，降低成像质量，影响最终的判断结果，因此需要结合其它指标综合评估MACE的风险。

NT-proBNP是脑利钠肽的前体蛋白，在心肌细胞受到压力或容量超负荷刺激时由心室肌细胞合成，在心肌缺血刺激下心室舒张和收缩功能急剧下降，导致NT-proBNP释放显著增多，血清NT-proBNP浓度明显升高，NT-proBNP参与扩张血管和抑制醛固酮的分泌，产生利尿作用，以维持血压和血容量间的平衡，因此NT-proBNP水平可反映心室负荷、心肌梗死面积和左心室功能障碍，2020年欧洲心脏病学会急性冠脉综合征管理指南推荐使用NT-proBNP评估患者预后^[4,15]。临床报道显示NT-proBNP与急性冠脉综合征患者心血管死亡风险独立相关，并可增加全球急性冠状动脉事件注册评分预测患者预后的价值^[16]。本研究结果显示血清NT-proBNP水平增高与冠心病患者PCI术后MACE的发生有关，预测MACE的曲线下面积达0.726，表明NT-proBNP可作为冠心病PCI术后预测的标志物，为冠心病患者预后评估提供重要信息。

sdLDL-C被定义为平均直径<25.5nm的低密度脂蛋白胆固醇，含抗氧化维生素对氧化应激高度敏感，可增加修饰低密度脂蛋白胆固醇水平，修饰的低密度脂蛋白胆固醇可通过诱导受体依赖性炎症反应促使血管壁局部炎症反应，sdLDL-C还可刺激免疫细胞、增加粘附分子的表达，从而诱导血管炎症反应，以促使动脉粥样硬化斑块形成^[17]。研究显示心肌梗死患者血清sdLDL-C水平显著增高^[18]，较高的sdLDL-C水平与较高的冠心病患病风险有关^[19]，sdLDL-C可作为稳定型冠状动脉疾病患者未来心血管事件的预测因子^[20]。本研究发现sdLDL-C水平升高与冠心病患者PCI术后MACE也存在密切的关系，sdLDL-C在预测冠心病患者PCI术后MACE方面具有一定的价值。分析原因为：随着LDL颗粒由大变小，胆固醇和磷脂的相对含量降低，而甘油三酯和蛋白质含量显著升高，sdLDL-C颗粒表面载脂蛋白B-100构象变化导致LDL受体亲和力及血浆清除率降低，在血液循环中停留时间长，使sdLDL-C有更多时间发生唾液酸化、糖基化和氧化，加之sdLDL-C直径小，使其更容易穿透血管内皮细胞，并通过修饰的低密度脂蛋白胆固醇受体易被巨噬细胞吞噬，巨噬细胞吞噬sdLDL-C后转变为泡沫细胞，促使动脉粥样硬化斑块的形成和MACE的发生^[21]。

将FFRCT与NT-proBNP、sdLDL-C联合后预测冠心病患者PCI术后MACE的曲线下面积明显增大，可见联合影像学参数和血

清生物学指标更有助于评估MACE风险，更具有临床价值。回归分析中年龄、冠脉病变支数3支及以上、术前TIMI 0级与冠心病患者PCI术后MACE也存在密切关系，提示年龄越大、冠脉病变累支数越多、阻塞程度越重，PCI术后MACE风险越大，临床应结合高危因素、CCTA参数FFRCT和血清NT-proBNP、sdLDL-C综合评估患者MACE风险。

综上，冠心病PCI术后MACE患者CCTA参数FFRCT降低，血清NT-proBNP、sdLDL-C水平升高，低FFRCT，高水平NT-proBNP、sdLDL-C是冠心病患者PCI术后发生MACE的相关因素，联合FFRCT与NT-proBNP、sdLDL-C可在一定程度上提高预测风险。

参考文献

- [1] 奚亮亮, 急性心肌梗死患者经皮冠状动脉介入治疗后并发不良心血管事件的危险因素分析[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(8): 37-38.
- [2] 冀舒文, 王英, 黄金昭, 等. 冠状动脉CTA和DSA对冠心病患者的临床诊断价值比较[J]. 现代生物医学进展, 2020, 20(16): 3109-3112.
- [3] 穆羽, 洪叶, 韩婷婷, 等. 冠状动脉CT血管造影评估冠状动脉功能性狭窄的研究进展[J]. 心血管病学进展, 2021, 42(3): 211-215.
- [4] Bai J, Han L, Liu H. Combined use of high-sensitivity ST2 and NT-proBNP for predicting major adverse cardiovascular events in coronary heart failure[J]. Ann Palliat Med, 2020, 9(4): 1976-1989.
- [5] Ivanova EA, Myasoedova VA, Melnichenko AA, et al. Small dense low-density lipoprotein as biomarker for atherosclerotic diseases[J]. Oxid Med Cell Longev, 2017, 10(3): 1273042.
- [6] 中华医学会心血管病学分会介入心脏病学组, 中华医学会心血管病学分会动脉粥样硬化与冠心病学组, 中国医师协会心血管内科医师分会血栓防治专业委员会, 等. 稳定性冠心病诊断与治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2018, 46(9): 680-694.
- [7] 汪波, 常时新, 许楠, 等. 心电图编辑在心律失常患者CT冠状动脉血管造影数据重建中的应用[J]. 中国医学影像技术, 2008, 24(1): 92-94.
- [8] 王建龙, 冯娜娜, 王作兰, 等. 依据肌酸激酶同工酶分层对非ST段抬高心肌梗死患者危险评估和住院期间发生主要心血管不良事件的预测价值[J]. 临床荟萃, 2017, 32(1): 54-58.
- [9] 向定成, 曾定尹, 霍勇. 冠状动脉痉挛综合征诊断与治疗中国专家共识[J]. 中国介入心脏病学杂志, 2015, 23(4): 181-186.
- [10] 宋俊钢. 通心络胶囊对冠心病稳定型心绞痛患者血脂代谢指标及心功能的影响[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(10): 41-43.
- [11] Madhavan MV, Kirtane AJ, Redfors B, et al. Stent-related adverse events >1 year after percutaneous coronary intervention[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 75(6): 590-604.
- [12] 史东星, 王道清, 张卉, 等. CCTA技术下斑块定量分析预测冠心病患者斑块进展的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(2): 73-75.
- [13] 鲍慧新, 胡春峰, 谢丽响. FFRCT对冠状动脉钙化斑块诊断价值的初步研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(4): 79-81.
- [14] Driessen RS, Danad I, Stuijzand WJ, et al. Comparison of coronary computed tomography angiography, fractional flow reserve, and perfusion imaging for ischemia diagnosis[J]. J Am Coll Cardiol, 2019, 73(2): 161-173.
- [15] Collet JP, Thiele H, Barbato E, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation[J]. Eur Heart J, 2021, 42(14): 1289-1367.
- [16] Souza TMB, Cerqueira AMS Jr, Suerdieck JG, et al. Prognostic value of NT-proBNP versus Killip classification in patients with acute coronary syndromes[J]. Arq Bras Cardiol, 2020, 114(4): 666-672.
- [17] Izumida T, Nakamura Y, Hino Y, et al. Combined effect of small dense low-density lipoprotein cholesterol (sdLDL-C) and remnant-like particle cholesterol (RLP-C) on low-grade inflammation[J]. J Atheroscler Thromb, 2020, 27(4): 319-330.
- [18] Duran EK, Aday AW, Cook NR, et al. Triglyceride-rich lipoprotein cholesterol, small dense LDL cholesterol, and incident cardiovascular disease[J]. J Am Coll Cardiol, 2020, 75(17): 2122-2135.
- [19] Liou L, Kaptoge S. Association of small, dense LDL-cholesterol concentration and lipoprotein particle characteristics with coronary heart disease: a systematic review and meta-analysis[J]. PLoS One, 2020, 15(11): e0241993.
- [20] Nishikura T, Koba S, Yokota Y, et al. Elevated small dense low-density lipoprotein cholesterol as a predictor for future cardiovascular events in patients with stable coronary artery disease[J]. J Atheroscler Thromb, 2014, 21(8): 755-767.
- [21] Zhang J, He L. Relationship between small dense low density lipoprotein and cardiovascular events in patients with acute coronary syndrome undergoing percutaneous coronary intervention[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2021, 21(1): 169.

(收稿日期: 2022-12-28)

(校对编辑: 孙晓晴)