

冠状动脉 CTA 多参数 AI 特征对急性冠脉综合症的诊断价值

宋瑶, 霍怀璧, 李晗, 刘晓菲, 刘婷

【摘要】 目的:基于冠状动脉 CTA(CCTA)探讨通过人工智能技术获取罪犯斑块多参数特征对急性冠脉综合征(ACS)的诊断价值。**方法:**本研究共纳入 65 名 ACS 患者,根据侵入性冠脉造影(ICA)结果将斑块分为罪犯斑块组($n=65$)和非罪犯斑块组($n=67$),利用 CCTA 对冠脉血管进行分析,通过人工智能软件获得冠脉周围脂肪衰减指数(FAI)、基于 CCTA 血流储备分数(FFR_{ct})及斑块定量参数,比较罪犯斑块与非罪犯斑块的差异性及罪犯斑块的影响因素。同时根据罪犯斑块组中的 FFR_{ct} 值进行分组,分为 FFR_{ct} >0.8 组($n=28$),FFR_{ct} ≤ 0.8 组($n=37$),比较其 FFR_{ct} 与斑块定量参数的相关性。**结果:**罪犯斑块与非罪犯斑块在 FAI、FFR_{ct}、最狭窄处管腔面积(MLA)、重构指数(RI)及钙化斑块负荷存在差异性(P 均 <0.05)。FAI、FFR_{ct}、RI、MLA 是罪犯斑块的主要影响因素(P 值分别为 0.002、0.002、0.004、0.025),FAI、FFR_{ct}、MLA、RI 及 4 个指标联合诊断模型诊断罪犯斑块的 ROC 曲线显示,联合诊断模型的曲线下面积最大($AUC=0.792$),提示其诊断效能最佳。罪犯斑块组中,FFR_{ct} ≤ 0.8 组和 FFR_{ct} >0.8 组的斑块长度、RI、纤维斑块体积、脂质斑块体积、钙化斑块体积以及总斑块体积差异具有统计学意义(P 值分别为 0.009、0.029、0.001、0.001、0.015、0.001)。罪犯斑块的血流动力学异常(即 FFR ≤ 0.8 组中)与斑块长度($r=-0.370$, $P=0.024$)、总斑块体积($r=-0.328$, $P=0.047$)、纤维斑块体积($r=-0.374$, $P=0.023$)之间存在负相关性。**结论:**冠脉 CTA 通过人工智能识别罪犯斑块多参数特征与 FFR_{ct}、FAI 联合后,联合指标对 ACS 患者的诊断价值要优于其他单一指标。

【关键词】 冠脉 CTA; 急性冠脉综合征; 冠周脂肪; 血流储备分数; 人工智能

【中图分类号】 R814.42; R541.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2023)07-0873-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.07.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Diagnostic value of multi-parameter AI features in coronary computed tomography angiography for acute coronary syndrome SONG Yao, HUO Huai-bi, LI Han, et al. The First Hospital of China Medical University, Shenyang 110001, China

【Abstract】 Objective: Exploring the diagnostic value of obtaining multi-parameter features of culprit plaques through artificial intelligence technology based on coronary computed tomography angiography (CCTA) for acute coronary syndrome (ACS). **Methods:** A total of 65 patients with acute coronary syndrome (ACS) were included in this study. Based on the results of invasive coronary angiography (ICA), the plaques were divided into culprit plaque group ($n=65$) and non-culprit plaque group ($n=67$). Coronary arteries were analyzed using CCTA, and artificial intelligence software was used to obtain pericoronary fat attenuation index (FAI), derived fractional flow reserve-CT (FFR_{ct}) and plaque quantitative parameters. The differences between culprit plaque and non-culprit plaque, as well as the influencing factors of the culprit plaque, were compared. Additionally, based on the FFR_{ct} values in the culprit plaque group, the patients were further divided into two groups: FFR_{ct} >0.8 group ($n=28$) and FFR_{ct} ≤ 0.8 group ($n=37$). The correlation between FFR_{ct} and plaque quantitative parameters was then compared within the culprit plaque group. **Results:** There were significant differences in FAI, FFR_{ct}, minimum lumen area (MLA), remodeling index (RI) (all $P<0.05$), and calcified plaque burden between culprit plaques and non-culprit plaques. FAI, FFR_{ct}, RI, and MLA were found to be the main influencing factors for culprit plaques ($P=0.002, 0.002, 0.004$, and 0.025 ,

作者单位: 110001 沈阳, 中国医科大学附属第一医院

作者简介: 宋瑶(1989-), 女, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 主治医师, 主要从事心血管影像诊断工作。

通讯作者: 刘婷, E-mail: cmuliuting@sina.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(82171918, 81871435, U1908211)

respectively). The combined diagnostic model using FAI, FFRct, MLA, RI and four indicators showed the largest area under the ROC curve ($AUC=0.792$), indicating the best diagnostic performance. In the culprit plaque group, there were statistically significant differences in plaque length, RI, fibrous plaque volume, lipid plaque volume, calcified plaque volume, and total plaque volume between the $FFRct \leq 0.8$ group and $FFRct > 0.8$ group ($P=0.009, 0.029, 0.001, 0.001, 0.015$, and 0.001 , respectively). Hemodynamic abnormalities in the culprit plaques ($FFR \leq 0.8$ group) showed negative correlations with plaque length ($r=-0.370, P=0.024$), plaque volume ($r=-0.328, P=0.047$), and fibrous plaque volume ($r=-0.374, P=0.023$). **Conclusion:** CCTA, when integrated with artificial intelligence for the identification of multi-parameter features of culprit plaques, along with the utilization of FFRct and FAI as combined indicators, exhibits superior diagnostic value compared to individual indicators for the diagnosis of patients presenting with ACS.

【Key words】 Coronary computed tomography angiography; Acute coronary syndrome; Pericoronary fat attenuation index; Fractional flow reserve; Artificial intelligence

急性冠状动脉综合征 (acute coronary syndrome, ACS) 是一种由于冠状动脉粥样硬化病变导致心肌缺血或梗死的心血管突发事件, 其发病率逐年增加, 起病迅速, 且死亡率较高, 因此早期诊断与治疗成为关键^[1]。ACS 患者的主要发病原因是冠状动脉易损斑块的突发性的破裂^[2-3]。侵入性冠脉造影 (invasive coronary angiography, ICA) 作为一种有创性检查方式, 是诊断冠状动脉疾病的金标准, 但其缺乏对斑块细节及周围组织特征信息的显示。冠脉 CTA (coronary computed tomography angiography, CCTA) 作为一种无创性的检查方法, 可以一站式获得冠状动脉多维度定量信息, 目前已经被广泛地应用于心血管疾病诊断和筛查上^[4-5]。其不但可以在斑块的定性、定量分析上显示出一定的优势, 同时基于 CCTA 的血流储备分数 (derived fractional flow reserve-CT, FFRct) 可通过解剖和功能两方面来评估冠脉缺血^[6]。此外, 从 CCTA 图像上可以测得的冠脉周围脂肪衰减指数 (pericoronary fat attenuation index, FAI) 作为一种评价血管炎症的影像学标志物, 已被证实为导致冠脉事件发生的影响因素^[7]。FFRct、FAI 以及其他斑块定量参数可以通过人工智能测得, 测量方法简单、测出数值快速, 减少了患者等待时间, 同时提高了医生诊断效率和精确度^[8]。随着人工智能 (artificial intelligence, AI) 技术在影像技术中的逐步推进, 整合 CCTA 多维度定量信息, 探究其在 ACS 的诊断与治疗中的应用价值, 成为有待解决的问题。

因此, 本研究在现有冠状动脉多参数 AI 特征的基础上, 探讨基于 AI 技术获取 CCTA 罪犯斑块的多参数特征及其对 ACS 的诊断价值。

材料与方法

1. 研究对象

本研究回顾性分析 2014 年 1 月—2021 年 12 月在中国医科大学附属第一医院因急性胸痛入院, 经急诊确诊为 ACS 的 105 名患者的病例资料。所有患者在 CCTA 检查前均签署知情同意书。纳入标准: 因急性胸痛入院并行 CCTA 检查, 临床资料完整并于入院 2 周内行 ICA 检查, 经临床诊断为 ACS。排除标准: ①既往有心脏手术病史 ($n=4$); ②支架内再狭窄引起的 ACS ($n=4$); ③图像质量差的患者 ($n=14$); ④临床资料不全的患者 ($n=18$)。首先根据 ICA 结果确定罪犯血管, 其次在罪犯血管中选取罪犯斑块, ACS 罪犯病变的选取标准为: 若罪犯血管仅存在单一斑块, 则为罪犯斑块, 若罪犯血管中斑块数量为 2 个及以上, 则狭窄程度最重、形态学特点最复杂的斑块确定为罪犯斑块^[9]。非罪犯病变选取标准为管腔直径狭窄率 $< 70\%$ 的病变。若与罪犯病变为同一血管, 则选取相距 1 cm 以上的斑块, 通过这种方法, 由两名具有至少 5 年冠状动脉造影阅片经验的观察者在冠状动脉造影片上以盲法确定罪犯斑块与非罪犯斑块。最终选取 65 名患者的 65 个罪犯斑块及 67 个非罪犯斑块, 应用冠脉后处理软件进行定量分析。其中罪犯斑块组, 以 $FFRct \leq 0.8$ 作为判断血流动力学异常的值, 分为: $FFRct \leq 0.8$ 组 37 例, $FFRct > 0.8$ 组 28 例。

2. 方法

CCTA 检查采用 Siemens Somatom Force CT 扫描仪。扫描参数为: 管电压 120 kV, 管电流 90 mAs, 层厚为 0.5 cm。以平静方式呼吸、在吸气时屏息, 首先进行胸部定位像扫描, 在降主动脉层面选取感兴趣区, 并监测 CT 阈值; 利用高压注射器注入对比剂碘佛醇注射液 60~80 mL, 再注入生理盐水 50 mL, 速度均为 5.0 mL/s。当选取的感兴趣区的阈值达到 100~120 HU 时, 开始进行 CCTA 扫描。

3. 图像处理

对扫描完成的冠状动脉进行重建。对显示效果不佳的图像,可选择图像相对较清晰的一组来进行冠脉血管的重建;利用 AI 冠脉后处理工作站对重建后的图像进行编辑,可以获得多种形式的冠脉图像。

采集的双源冠脉 CTA 图像使用 Siemens 人工智能后处理软件(Syngo, via version VB20, Siemens Healthineer, Forchheim, Germany)进行斑块的定量参数以及 FAI 分析(图 1)。使用数坤冠状动脉 CT 成像 AI 辅助诊断 Coronary DOC 中的 FFR 模块进行罪犯病变处的血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)测量(图 2)。所有入组的斑块均进行两次测量取平均值,如遇自动测量分析中心线不准的情况下,需手动校正后再进行自动分析。

4. 统计学分析

采用 IBM SPSS Statistics 23 软件进行统计学分析,计量资料采用均数±标准差形式表示。非正态分布资料用中位数(上四分位数,下四分位数)表示。

对样本数据进行正态性分布检验,罪犯斑块组与非罪犯斑块组的斑块定量数据之间采用独立样本 *t* 检验或 Wilcoxon 秩和检验分析。采用 Logistic 回归模型和受试者操作特征(receiver operator characteristic, ROC)曲线来评价 FFRct、FAI 及其他斑块定量参数的诊断效能。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

罪犯斑块组中,根据 FFRct 值进行分组,分为 FFRct > 0.8 组($n = 27$),FFRct ≤ 0.8 组($n = 37$),采用独立样本 *t* 检验或秩和检验比较各斑块定量参数之

间的差异性,通过线性相关分析,比较 FFRct ≤ 0.8 组斑块特征之间的相关性。相关系数 $0.8 \sim 1.0$ 为强相关, $0.5 \sim < 0.8$ 为中度相关, $0.3 \sim < 0.5$ 为弱相关, $0 \sim < 0.3$ 为不相关。

结 果

1. 一般资料分析

最终 65 名 ACS 患者被纳入研究队列。男 55 例,女 10 例。年龄 $40 \sim 88$ 岁,平均 (62.42 ± 9.12) 岁,体质指数 (25.49 ± 3.31) kg/m^2 。糖尿病 35(53.8%)例,高血压 51(78.5%)例,血脂异常 24(36.9%)例,吸烟 45(69.2%)例,饮酒 26(40.0%)例。共采用有斑块血管 132 支,分为罪犯斑块组($n = 65$)和非罪犯斑块组($n = 67$)。

2. 罪犯斑块与非罪犯斑块的差异性

罪犯斑块与非罪犯斑块在 FFRct、最狭窄处管腔面积(minimum lumen area, MLA)、重构指数(reconstruction index, RI)、钙化斑块负荷及 FAI 中差异具有统计学意义(P 值分别为 0.050、0.002、0.001、0.005、 < 0.001)。而两组在总斑块体积、钙化斑块体积、斑块长度以及脂质斑块体积、纤维斑块体积、脂质斑块负荷、纤维斑块负荷、偏心指数中差异无统计学意义($P > 0.05$, 表 1)。

对上述差异有统计学意义的指标进行诊断价值比较(表 2),FAI 的 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)最大($\text{AUC} = 0.696$),敏感度也相对较高

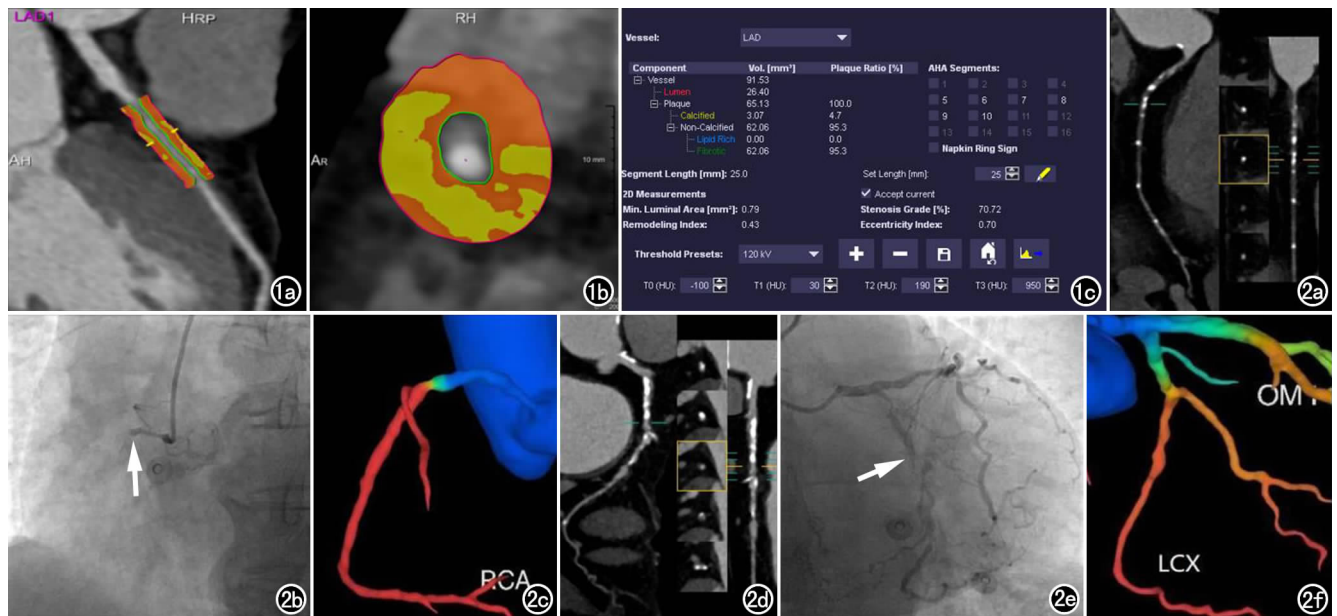


图 1 应用 Syngo.via 工作站分析冠脉斑块定量参数及 FAI 测量。图 2 女, 62 岁, 因急性胸痛 2 小时入院, a~c 为罪犯血管, d~f 为非罪犯血管。a) CCTA 右冠状动脉多平面重组图像; b) 冠脉造影图像, 狭窄率为 100% (箭); c) FFRct 测量图; d) CTA 左回旋支多平面重组图像; e) 冠脉造影图像, 狭窄率为 65% (箭); f) FFRct 测量图。

表 1 罪犯斑块与非罪犯斑块的差异性

斑块特征	罪犯斑块 (n=65)	非罪犯斑块 (n=67)	t/Z	P 值
FAI/HU	-64.05±10.12	-70.08±7.76	3.830	<0.001
MLA/mm ²	3.85±1.66	3.00±1.37	3.229	0.002
斑块长度/mm	16.30(10.15,32.10)	16.60(8.00,30.40)	-0.478	0.633
总斑块体积/mm ³	155.51(64.59,336.18)	171.56(66.58,329.40)	-0.407	0.684
钙化斑块体积/mm ³	17.58(8.21,70.46)	40.32(12.26,131.78)	-1.898	0.058
脂质斑块体积/mm ³	2.50(0.08,11.03)	2.59(0.26,9.75)	-0.277	0.782
纤维斑块体积/mm ³	109.95(57.36,206.33)	89.74(50.01,197.76)	-0.699	0.485
偏心指数/%	0.31(0.11,0.46)	0.22(0.11,0.49)	-0.512	0.609
RI/%	1.15±0.33	0.96±0.28	3.483	0.001
钙化斑块负荷/%	11.41(3.86,20.78)	19.18(9.29,29.37)	-2.824	0.005
脂质斑块负荷/%	0.90(0.05,3.88)	0.83(0.14,3.37)	-0.242	0.808
纤维斑块负荷/%	43.34(34.27,56.61)	43.60(32.90,50.89)	-1.1157	0.265
FFRct	0.79±0.12	0.85±0.11	-2.879	0.005

表 2 各项指标对罪犯斑块的诊断价值

指标	临界值	AUC	敏感度	特异度	P 值
FAI	-68.095HU	0.696	72.3%	62.7%	<0.001
MLA	3.715mm ²	0.658	60.0%	71.6%	0.002
RI	1.225%	0.661	44.6%	80.6%	0.001
钙化斑块负荷	17.98%	0.642	52.2%	70.8%	0.005
FFRct	0.805	0.645	74.6%	55.4%	0.004

(72.3%), 特异度只有 62.7%。特异度最高的指标为 RI(80.6%)。

3. Logistic 回归分析罪犯斑块的影响因素

将斑块的定量参数包括 FAI、FFRct、总斑块体积、狭窄程度、斑块长度、偏心指数、MLA、RI、钙化斑块负荷、脂质斑块负荷以及纤维斑块负荷作为筛选因素,以罪犯斑块做为筛选结果(罪犯斑块与非罪犯斑块),进行 Logistic 回归分析,结果表明 FAI、FFRct、MLA 及 RI 是罪犯斑块的主要影响因素($P<0.05$,表 3)。

FAI、FFRct、MLA、RI 及 4 个指标联合模型对罪

犯斑块的诊断价值的 ROC 曲线分析显示(图 3),其中,联合诊断模型的 AUC 最大(0.792, 95% CI:0.717~0.867),提示其诊断效能最佳,敏感度为 89.2%,特异度为 55.2%。

4. 罪犯斑块组中不同 FFRct 值之间的斑块特征比较

比较 FFRct≤0.8 组和 FFRct>0.8 组中各种

斑块定量参数的差异,其中斑块长度、RI、纤维斑块体积、脂质斑块体积、钙化斑块体积以及总斑块体积在两组之间差异具有统计学意义(P 值分别为 0.009、0.029、0.001、0.001、0.015、0.001,表 4)。

5. 基于 AI 的 FFRct 与斑块定量特征的相关性分析

在罪犯斑块组中提示有血流动力学异常的斑块中(FFRct≤0.8 组)分析 FFRct 与各种斑块定量参数之间的相关性。FFRct 与斑块长度弱相关($r=-0.370$, $P=0.024$),与总斑块体积弱相关($r=-0.328$, $P=0.047$),与纤维斑块体积弱相关($r=-0.374$, $P=0.023$),见图 4。随着斑块长度、总斑块体积和纤维斑块体积增大,FFR 值减低,提示血流动力学改变越明显。FFR 与 FAI、MLA、钙化斑块体积、脂质斑块体积、偏心指数、RI 以及纤维斑块负荷、脂质斑块负荷、钙化斑块负荷之间无明显相关性($P>0.05$)。

表 3 Logistic 回归分析罪犯斑块的影响因素

变量	B	SE	Wald ²	P	OR	OR 的 95%CI	
						下限	上限
FAI	0.078	0.025	9.916	0.002	1.081	1.030	1.134
FFRct	-5.665	1.813	9.763	0.002	0.003	0.000	0.121
MLA	0.412	0.144	8.163	0.004	1.510	1.138	2.003
RI	1.616	0.720	5.037	0.025	5.033	1.227	20.641

表 4 罪犯斑块组中不同 FFRct 值之间斑块特征的比较

斑块特征	FFRct≤0.80 (n=37)	FFRct>0.80 (n=28)	t/Z	P 值
FFRct	0.70±0.08	0.91±0.05	-11.991	0.000
FAI/HU	-64.88±9.59	-63.00±10.87	-0.756	0.452
MLA/mm ²	3.70±1.63	4.06±1.72	-0.875	0.385
斑块长度/mm	19.60(12.00,39.00)	12.45(7.80,19.63)	-2.610	0.009
总斑块体积/mm ³	213.46(115.01,484.42)	69.90(30.81,202.60)	-3.431	0.001
钙化斑块体积/mm ³	34.13(9.22,112.59)	13.22(3.25,34.79)	-2.431	0.015
脂质斑块体积/mm ³	7.42(0.58,26.78)	0.74(0.00,3.64)	-3.292	0.001
纤维斑块体积/mm ³	143.94(92.42,303.65)	66.92(29.53,145.62)	-3.219	0.001
偏心指数/%	0.39(0.13,0.52)	0.18(0.09,0.42)	-1.862	0.063
RI/%	1.07±0.38	1.24±0.23	-2.234	0.029
钙化斑块负荷/%	11.71(3.79,24.45)	11.34(3.71,17.38)	-0.450	0.652
脂质斑块负荷/%	0.61(0.03,3.04)	1.25(0.02,4.50)	-0.307	0.759
纤维斑块负荷/%	43.34(32.19,65.51)	44.68(35.75,53.21)	-0.848	0.397

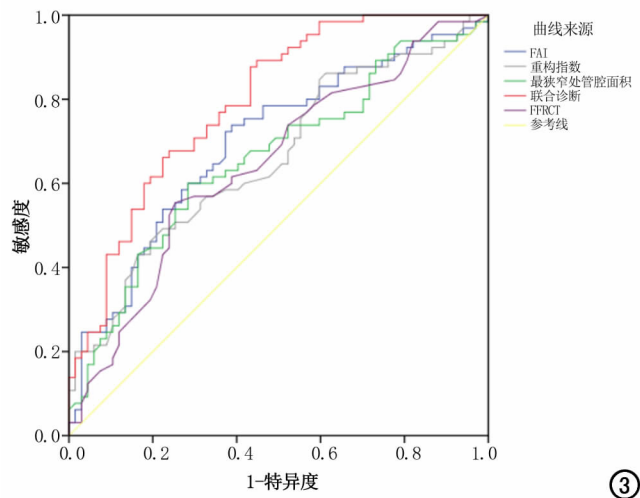


图3 FAI、FFRct、MLA、RI 及 4 指标联合诊断的 ROC 曲线。

讨论

本研究采用 AI 技术分析罪犯斑块与非罪犯斑块在定量参数、FAI、FFRct 的差异性,并对罪犯斑块组 FFRct 值与各种斑块定量参数之间进行相关性分析,探讨 AI 分析多参数特征对 ACS 的诊断价值。

1. 罪犯斑块与非罪犯斑块斑块特征的比较

本研究结构显示,罪犯斑块组患者中的 FAI (-64.05 ± 10.12)、MLA (3.85 ± 1.66)、RI (1.15 ± 0.33)及 FFRct (0.79 ± 0.12)值显著高于非罪犯斑块组 -70.08 ± 7.76 、 3.00 ± 1.37 、 0.96 ± 0.28 、 0.85 ± 0.11 ,可为鉴别罪犯斑块与非罪犯斑块提供依据。有研究表明,FAI 的改变与 ACS 的发生有一定的相关性^[10]。罪犯斑块大多数是由易损斑块的破裂所产生,ACS 患者罪犯斑块的斑块破裂会释放血管内皮内和周围的炎症因子,导致血管的炎症反应,从而影响 FAI 值的改变。有研究表明 ACS 患者的 RI 值 > 1.1 ,以正性重构为主^[11],与本研究的结果相同。而钙化斑块负

荷在罪犯斑块组 $[11.41(3.86, 20.78)]$ 明显低于非罪犯斑块组 $[19.18(9.29, 29.37)]$,这可能是由于罪犯斑块的性质及成分比较复杂,而非罪犯斑块的形态及性质相对稳定,即钙化成分相对较多引起的。与既往研究结论不同的是^[12-14],本研究观测到的脂质斑块负荷值,在罪犯斑块组与非罪犯斑块组之间的差异无统计学意义,有可能是由于斑块测量方法和应用软件上的不同所造成。

由于斑块的破裂是一种比较复杂的发展过程,除了受到斑块特征性的影响外,还和作用在斑块上的血流动力学影响因素有关^[15],Lee 等研究证实,ACS 患者罪犯斑块的 FFRct 值低于非罪犯斑块^[9]。一项较新的研究表明,FFRct 值的高低可能与心脏疾病的严重程度相关^[16]。本研究将 FFRct ≤ 0.8 作为提示血流动力学异常的临界值^[17]。罪犯斑块组的 FFRct 平均值为 0.70 ± 0.08 ,小于 0.8,表明罪犯斑块可能存在功能性狭窄。

2. 斑块定量指标对 ACS 的诊断价值

既往研究表明,斑块定性及定量特征对评价心血管不良事件的发生有一定的诊断价值^[18]。有研究结果表明,冠状动脉狭窄的血流动力学的异常改变,与 FAI 联合总的斑块负荷、管腔狭窄程度等指标,有相对较高的诊断准确性^[19]。斑块的定量参数联合 FFRct 对 ACS 的诊断效能较高^[12]。

本研究结果显示,对 ACS 罪犯病变诊断价值较好的指标是 FAI,敏感度及诊断效能均较高(敏感度 72.3%、AUC 0.696),而 FAI、FFRct 及斑块定量参数 4 指标联合对 ACS 患者的诊断效能最高,AUC 达到 0.792。不同的是,虽然诊断敏感度达到了 89.2%,但特异度仅有 55.2%,这可能是由于本研究样本量小、研究人群是急性胸痛患者及检测技术、检测方法等原因导致。因此,FAI、FFRct 及斑块定量参数 4 指标联合对 ACS 罪犯斑块特点的评估可能会提供更好的诊

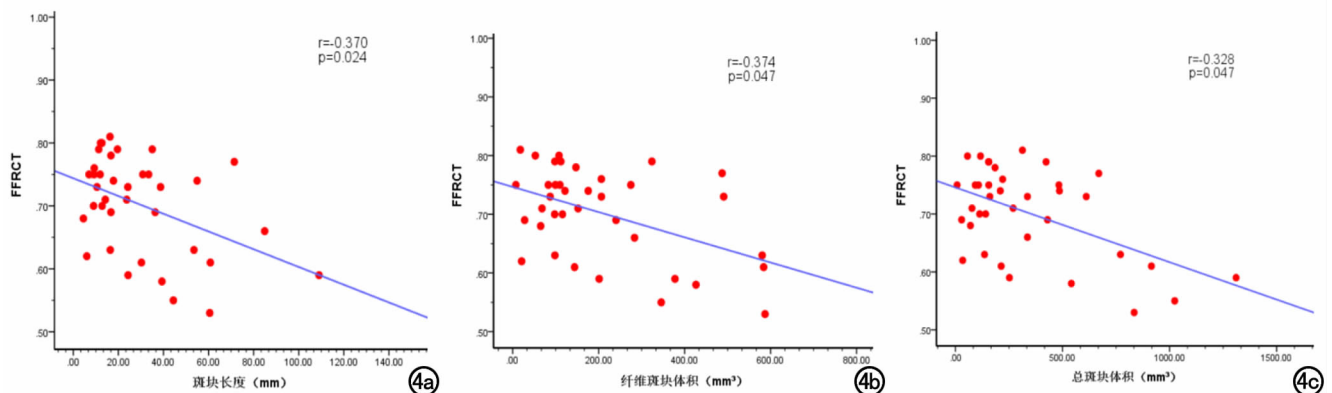


图4 FFRct ≤ 0.8 组中,FFRct 与斑块定量特征的相关性。a)FFRct 与斑块长度的相关性;b)FFRct 与纤维斑块体积的相关性;c)FFRct 与总斑块体积的相关性。

疗策略。

3. 血流动力学异常中各斑块特征的差异性与相关性

有研究表明,ACS 的发生与斑块的易损特征有一定的相关性,有些斑块可能在导致心肌缺血时尚未引起狭窄^[20]。因此斑块的某些特征与血流动力学改变可能存在一些联系。本研究结果显示在 $\text{FFR} > 0.8$ 组与 $\text{FFR} \leq 0.8$ 组之间,斑块长度、RI、脂质斑块体积、纤维斑块体积、钙化斑块体积以及总斑块体积存在差异性。罪犯斑块的成分大多以脂质斑块为主,有研究表明脂质斑块的密度越低发生的氧化反应越大,这可能是局部血管内皮功能发生障碍的原因之一,并可以造成局部血管的“功能性狭窄改变”和在压力过程中无法充分扩张有关^[21]。因此在血流动力学的逐步恶化中,脂质斑块的改变会使斑块性质变得不稳定。说明斑块内脂质成分越多,引起下游心肌缺血的可能就越大。在 $\text{FFR}_{\text{ct}} \leq 0.8$ 组中, FFR_{ct} 值与斑块长度、纤维斑块体积及总斑块体积之间存在负相关。说明斑块的长度、体积越大,冠脉的狭窄程度越高,因此造成血流动力学改变越明显。

4. 研究局限性

本研究局限性是样本容量小和存在个体差异。为了更准确地取得研究结果,仍然需要大量样本,不同后处理软件和测量技术获得的数值也存在一定差异,可能会影响本研究结果。未来会继续扩大样本量,对此进行进一步的深入研究。

综上所述,基于冠脉 CTA 通过人工智能技术获取罪犯斑块多参数特征与 FFR_{ct} 、FAI 联合后,联合指标对 ACS 患者的诊断价值要优于其他单一指标。

参考文献:

- [1] Benjamin EJ, Muntner P, Alonso A, et al. Heart disease and stroke statistics-2019 update: A report from the American Heart Association[J]. Circulation, 2019, 139(10): e56-e528.
- [2] Higuma T, Soeda T, Abe N, et al. A Combined optical coherence tomography and intravascular ultrasound study on plaque rupture, plaque erosion, and calcified nodule in patients with ST-segment elevation myocardial infarction: incidence, morphologic characteristics, and outcomes after percutaneous coronary intervention[J]. JACC Cardiovasc Interv, 2015, 8(9): 1166-1176.
- [3] Crea F, Vergallo R. Plaque erosion: towards precision medicine in acute coronary syndromes[J]. Int J Cardiol, 2019, 288: 22-24.
- [4] 张岭岭, 石俊岭, 陈雪果, 等. SPECT 心肌灌注显像和冠脉 CTA 及其融合图像对冠心病的诊断价值比较[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2020, 18(4): 64-67.
- [5] 刘鑫, 杨林林, 王一婧, 等. 应用全模型迭代重建技术的低剂量冠脉 CTA 在疑似冠心病患者中诊断价值的初步研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2020, 31(4): 252-257.
- [6] Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, et al. Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary compu-

ted tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (analysis of coronary blood flow using CT angiography: next steps)[J]. J Am Coll Cardiol, 2014, 63(12): 1145-1155.

- [7] Nous F, Budde RPJ, Fairbairn TA, et al. Temporal changes in FFR_{ct}-guided management of coronary artery disease-lessons from the advance registry[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2021, 15(1): 8-55.
- [8] 张晓浩, 刘军波, 范丽娟. 人工智能技术应用于冠状动脉 CTA 图像后处理的可行性[J]. 放射学实践, 2021, 36(8): 994-999.
- [9] Lee JM, Choi G, Koo BK, et al. Identification of high-risk plaques destined to cause acute coronary syndrome using coronary computed tomographic angiography and computational fluid dynamics[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2019, 12(6): 1032-1043.
- [10] 杨贵宝, 郑芳芳, 袁俊强, 等. 冠脉 CT 血管成像对急性冠脉综合征患者斑块性质的诊断价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2018, 16(11): 75-78.
- [11] 韩婷婷, 穆玥, 洪叶, 等. CCTA 定量斑块特征及血管周围脂肪在急性冠脉综合征中的临床价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(3): 361-365.
- [12] da Silva Guimarães S, de Souza Cruz W, da Silva L, et al. Effect of L-carnitine supplementation on reverse remodeling in patients with ischemic heart disease undergoing coronary artery bypass grafting: A randomized, placebo-controlled trial[J]. Ann Nutr Metab, 2017, 70(2): 106-110.
- [13] 韦章诚, 罗鹰, 高德军, 等. 冠脉 CT 血管成像定量分析比较急性冠脉综合征和稳定冠脉冠心病患者中斑块狭窄的差异[J]. 放射学实践, 2016, 31(6): 487-491.
- [14] Deseive S, Straub R, Kupke M, et al. Quantification of coronary low-attenuation plaque volume for long-term prediction of cardiac events and reclassification of patients[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2018, 12(2): 118-124.
- [15] Li S, Chen C, Qin L, et al. The impact of iterative reconstruction algorithms on machine learning-based coronary CT angiography-derived fractional flow reserve (CT-FFRML) values[J]. Int J Cardiovasc imaging, 2020, 36(6): 1177-1185.
- [16] Nieman K. The feasibility, findings and future of CT-FFR in the emergency ward[J]. J Cardiovasc Computed Tomogr, 2020, 14(3): 287-288.
- [17] Tesche C, De Cecco CN, Albrecht MH, et al. Coronary CT angiography-derived fractional flow reserve[J]. Radiology, 2017, 285(1): 17-33.
- [18] 刘洋, 张舒媛, 司斌, 等. 冠状动脉 CT 血管成像检测对冠状动脉易损斑块和主要不良心血管事件风险预测的评估[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 894-899.
- [19] 王庆虎, 杨少雄, 许怡隼, 等. 颈动脉分叉处血管粥样硬化斑块的体内应力分析[J]. 医用生物力学, 2019, 34(3): 268-276.
- [20] Tesche C, Caruso D, De Cecco CN, et al. Coronary computed tomography angiography-derived plaque quantification in patients with acute coronary syndrome[J]. Am J Cardiol, 2017, 119(5): 712-718.
- [21] Ahmadi A, Kini A, Narula J. Discordance between ischemia and stenosis, or PINSS and NIPSS: are we ready for new vocabulary[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2015, 8(1): 111-114.

(收稿日期: 2022-04-27 修回日期: 2023-02-20)