

· 心血管影像学 ·

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

韩婷婷,穆玥,洪叶,黄明刚

【摘要】 目的:使用冠状动脉 CT 血管成像(CCTA)定量急性冠脉综合征(ACS)患者斑块特征与冠状动脉周围脂肪组织(PCAT),探讨相关参数评价 ACS 的临床应用价值。**方法:**回顾性分析 2019 年 2 月—2020 年 6 月本院胸痛中心收治的 35 例 ACS 患者为研究对象,同期选取 35 例稳定性心绞痛(SAP)患者作为临床对照,搜集所有患者 CCTA 影像及一般临床资料。采用半自动计算机软件定量斑块特征,包括总斑块(TP)、钙化斑块(CP)、非钙化斑块(NCP)以及低、中、高不同衰减程度的 NCP 负荷、正性重构等指标。另外测量罪犯血管的 PCAT 比值,以及三支大血管周围的 EAT 厚度与 CT 值。**结果:**ACS 组 TP、NCP、低衰减 NCP、中衰减 NCP 负荷、重建指数及 PCAT 比值均显著高于 SAP 组($P<0.05$),而两组在 CP 负荷、狭窄程度、平均 EAT 厚度及密度比较上差异无统计学意义($P>0.05$);ROC 曲线分析结果显示,PCAT 比值、TP、NCP、低衰减 NCP、中衰减 NCP 曲线下面积(AUC)分别为 0.762、0.786、0.825、0.888、0.683,其中低衰减 NCP 的 AUC 值最大,95%CI 为 0.811~0.966,敏感度及特异度均为 82.9%。**结论:**CCTA 在显示 ACS 与 SAP 患者斑块特征、PCAT 比值的差异性上有重要的作用,且低衰减 NCP 负荷对于 ACS 的诊断效能最佳,值得临床合理应用。

【关键词】 冠状动脉 CT 血管成像;急性冠脉综合征;冠状动脉周围脂肪组织;斑块负荷;心外膜脂肪组织

【中图分类号】 R814.42;R541.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2021)03-0361-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.03.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Clinical value of CCTA quantitative plaque characteristics and perivascular fat in acute coronary syndrome HAN Ting-ting, MU Yue, HONG Ye, et al. Xi'an Medical University, Xi'an 710021, China

【Abstract】 Objective: Coronary CT angiography (CCTA) was used to quantify the plaque characteristics of patients with acute coronary syndrome (ACS) and to discuss the related parameters of pericoronary adipose tissue (PCAT), to evaluate the clinical value of ACS. **Methods:** A retrospective analysis was made on 35 ACS patients treated in chest pain center of our hospital from February 2019 to June 2020, and 35 (SAP) patients with stable angina pectoris were selected as clinical control group in the same period. CCTA images and general clinical data of all patients were collected. Semi-automatic computer software was used to quantify plaque characteristics, including total plaque (TP), calcified plaque (CP), non-calcified (NCP), low, medium and high attenuation of non-calcified plaque load, and positive remodeling. In addition, the PCAT ratio of criminal vessels, the thickness and CT value of EAT around the three major vessels were measured. **Results:** TP, NCP, low attenuation NCP, moderate attenuation NCP load, remodeling index and PCAT ratio in ACS group were significantly higher than those in SAP group, but there was no significant difference for CP load, stenosis degree, average EAT thickness and density between the two groups. The results of ROC curve analysis showed that the area under PCAT ratio, TP, NCP, low attenuation NCP and medium attenuation NCP curve were 0.762、0.786、0.825、0.888 and 0.683, respectively. The AUC value of low attenuation NCP was the highest, while 95%CI was 0.811 to 0.966, and sensitivity and specificity were both 0.829. **Conclusion:** CCTA plays an important role in showing the plaque characteristics and the difference of PCAT between ACS and SAP. And the low attenuation NCP load is the best diagnostic index of ACS and worthy for clinical

application.

【Key words】 Coronary CT angiography; Acute coronary syndrome; Pericoronary adipose tissue; Plaque load; Epicardial adipose tissue

急性冠脉综合征 (acute coronary syndrome, ACS) 是最常见的心血管系统急危重症,也是导致冠心病患者发生不良心血管事件的主要原因,它具有起病急、病情进展迅速、病死率高的特点^[1]。研究表明,冠状动脉粥样硬化不稳定斑块破裂和血栓形成导致管腔完全或不完全性闭塞引起的急性心肌缺血是 ACS 发生的独立危险因素^[2]。Skiba 等^[3]研究发现,由于血管周围脂肪组织与血管壁间存在密切相互作用,当脂肪组织功能失调时,分泌大量促炎性脂肪因子和细胞因子,可直接作用于邻近血管壁,导致血管内皮功能障碍和氧化应激,进而影响动脉粥样硬化斑块的发生、发展及脱稳定化进程,故血管周围脂肪组织与 ACS 的发生可能存在一定关系。心外膜脂肪组织 (epicardial adipose tissue, EAT) 起源于棕色脂肪组织,直接包裹于冠状动脉和心肌表面,分为冠状动脉外膜周围脂肪组织 (pericoronary adipose tissue, PCAT) 及心肌表面脂肪组织,由于 PCAT 直接覆盖在冠状动脉外膜上,因此与远距离的脂肪库相比,PCAT 对心血管疾病和代谢综合征发生产生的影响更大^[4]。目前国内外关于冠状动脉 CT 血管成像 (coronary CT angiography, CCTA) 定量分析 ACS 患者斑块特征、血管周围脂肪的相关报道并不多,本研究旨在通过 CCTA 定量分析 ACS 患者斑块特征以及 PCAT、EAT 等相关参数进一步探讨其临床应用价值。

材料与方法

1. 研究对象

以本院胸痛中心 2019 年 2 月—2020 年 6 月收治并住院的 35 例 ACS 患者为研究对象 (ACS 组),其中不稳定性心绞痛 17 例,ST 段抬高型心肌梗死 10 例,非 ST 段抬高型心肌梗死 8 例。另同期选取 35 例稳定型心绞痛 (stable angina pectoris, SAP) 患者作为对照 (SAP 组)。入选患者先行 CCTA 检查随后进行冠状动脉血管成像 (coronary angiography, CAG) 检查,结果显示均为单支血管单个病变。临床诊断符合美国心脏病协会 (American Heart Association, AHA) 指南中冠心病及 ACS 诊断标准,表现为典型的发作性或压榨性胸痛,随后均经 CAG、心电图及心肌酶检查等确诊。排除既往行经皮冠状动脉内介入治疗或冠状动脉旁路移植术后、慢性完全性闭塞者、肝肾功能不全、甲状腺功能亢进、CCTA 图像质量不佳者。一般资料由住院资料或询问病史等方式获得,包括基线资料,高

血压 (收缩压 ≥ 140 mmHg 和/或舒张压 ≥ 90 mmHg)、糖尿病、血脂情况、体质指数 (body mass index, BMI)、吸烟史 (正在吸烟或 6 个月内戒烟) 等。

2. CCTA 检查及参数测定

检查方法:采用 320 排 640 层宽体探测器 CT 扫描仪 (Acquilion one Vision Edition, Canon Medical Systems, 日本),前瞻性或回顾性心电门控技术进行扫描,检查过程中密切监测心电图。采用双筒高压注射器以 4.5~5.5 mL/s 流率经右肘静脉注入 60 mL 非离子型对比剂碘普罗胺 (370 mg I/mL) 及 30 mL 生理盐水。扫描范围:气管分叉水平至心脏膈面下,设定主动脉根部断面为检测层面,采用 SureStart 对比剂追踪软件进行智能触发扫描,阈值为 300~330 HU,一次屏气完成心脏扫描。扫描参数:管电压 100~120 kV,管电流 200~400 mA,扫描视野为 FOV-M,探测器准直为 320×0.5 mm,转速 0.275 r/s,层厚 0.5 cm。

图像后处理:将原始图像数据传至佳能 Vitrea FX 3.0 后处理工作站,选择心动周期最佳时相进行图像三维重组,包括容积再现 (volume rendering, VR)、最大密度投影 (maximal intensity projection, MIP)、多平面重组 (curved planar reconstruction, CPR)。

数据测量:PCAT 厚度定义为冠状动脉与心包或冠状动脉与心脏表面内脏层垂直厚度之和,当冠状动脉与心脏之间存在两个垂直的内脏层厚度时,选择较短的厚度。于 CPR 短轴分别测量罪犯血管最小管腔面积处的 PCAT 厚度以及病变近远端无斑块处的 PCAT 厚度,PCAT 比值 = $2(A_2 + B_2)/(A_1 + B_1 + A_3 + B_3)$,见图 1。EAT 厚度及 CT 值测量在 2D 图像模式中进行,分别于横轴面前降支、回旋支、右冠状动脉血管中段心外膜脂肪组织最厚的层面,垂直于心肌表面测量 EAT 厚度,并于相同区域冠状动脉周围放置圆形兴趣区 (ROI) 大小控制为 20 mm²,记录 ROI 内 EAT 的 CT 值 (图 2~3)。采用半自动软件自动计算罪犯病变部位各斑块负荷、狭窄程度及重建指数 (remodeling index, RI)。进入 Vitrea 工作站的心血管斑块分析软件,采用 Average 方式进行斑块分析,设定不同 CT 值范围区分斑块的不同成分^[5],依次将总斑块 (total plaque, TP) 划分为钙化斑块 (calcified plaque, CP, 351~1300 HU) 与非钙化斑块 (non-calcified plaque, NCP, -30~350 HU),进一步将 NCP 分为低衰减 NCP (-30~30 HU)、中衰减 NCP (31~130 HU) 和高衰减 NCP (131~350 HU),分别计算其

斑块负荷(斑块负荷=斑块体积/血管体积×100%)。狭窄程度=斑块面积/参考部位的血管横截面积,参考部位的血管横截面积定义为:(近+远端正常血管横截面积)/2。正性重构(positive reconstruction, PR)用 RI 表示,RI=血管横断面病变处管腔面积/近端参考点(无斑块)管腔面积,RI>1.0 判定为正性重构,RI=1.0 为无重构,RI<1.0 为负性重构。入选患者 CCTA 图像均由 2 名高年资放射科医师分别阅片并评价图像质量,意见出现分歧时,经讨论取得一致结果。为保证结论的准确性,所有数据测量由两名经过培训的医师完成,每处测量 3 次取其平均值,最后综合评价两人所测数据的准确性后纳入数据库。

3. 统计学方法

采用 SPSS 25.0 软件包进行统计学分析,定量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,分类资料采用频率或百分比表示,组间比较定量资料采用两独立样本 t 检验,分类资料采用 χ^2 检验。采用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)评判各定量参数的诊断效能,选择最佳临界点并计算对应的敏感度和特异度。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 两组一般资料比较
- ACS 组与 SAP 组年龄、性别比例、冠脉危险因素等一般资料差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。
2. 两组冠状动脉周围脂肪的定量分析
- ACS 组 PCAT 比值高于 SAP 组,差异有统计学意义($P<0.001$);而两组平均 EAT 厚度及密度比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。
3. 两组斑块定量参数的比较
- ACS 组的 TP、NCP、低衰减 NCP、中衰减 NCP 负荷及 RI 均明显高于对照组,差异有统计学意义($P<$

表 1 两组患者一般资料比较

一般资料	ACS 组 (n=35)	SAP 组 (n=35)	t/χ^2	P 值
年龄(岁)	61.0±11.1	59.8±9.8	0.467	0.642
男性	26(74.3)	22(62.9)	1.061	0.303
冠脉危险因素[例(%)]				
糖尿病	23(65.7)	20(57.1)	0.543	0.461
高血压	24(68.6)	22(62.9)	0.254	0.615
血脂异常	19(54.3)	15(42.9)	0.915	0.339
吸烟	15(42.9)	13(37.1)	0.238	0.626
BMI(kg/m ²)	22.4±4.4	23.7±4.5	1.244	0.218

表 2 PCAT 与 EAT 厚度及密度的比较

周围脂肪	ACS 组	SAP 组	t	P 值
PCAT 比值	1.1±0.1	1.0±0.2	4.077	<0.001
平均 EAT 厚度	10.9±0.6	10.7±0.9	1.288	0.202
平均 EAT 密度	-96.8±10.2	-95.1±8.4	0.757	0.452

0.05,表 3);而狭窄程度、CP 负荷、高衰减 NCP 在两组间的差异无统计学意义($P>0.05$),见表 3。

表 3 斑块定量参数的比较

参数	ACS 组	SAP 组	t	P 值
狭窄程度(%)	72.5±6.8	70.6±7.1	1.154	0.253
斑块负荷(%)				
TP	65.9±6.0	59.4±6.1	4.442	0.000
CP	14.6±6.5	15.5±6.4	0.578	0.565
NCP	51.2±5.8	43.5±6.3	5.337	0.000
低衰减 NCP	20.2±4.1	13.2±4.0	7.157	0.000
中衰减 NCP	17.3±4.3	14.7±3.3	2.810	0.006
高衰减 NCP	14.0±4.0	15.5±5.6	1.352	0.181
RI	1.1±0.3	0.8±0.2	5.543	0.000

4. 各类型斑块负荷在 ACS 诊断中的价值比较
- ROC 曲线分析显示:PCAT 比值、TP、NCP、低衰减 NCP、中衰减 NCP 的 AUC 分别为 0.762(95%CI: 0.648~0.875)、0.786(95%CI: 0.679~0.892)、0.825(95%CI: 0.730~0.919)、0.888(95%CI: 0.811~0.966)、0.683(95%CI: 0.555~0.810);敏感度分别为 71.4%、85.7%、68.6%、82.9%、71.4%;特异度为分别为 74.3%、62.9%、82.9%、82.9%、62.9%。根据 AUC

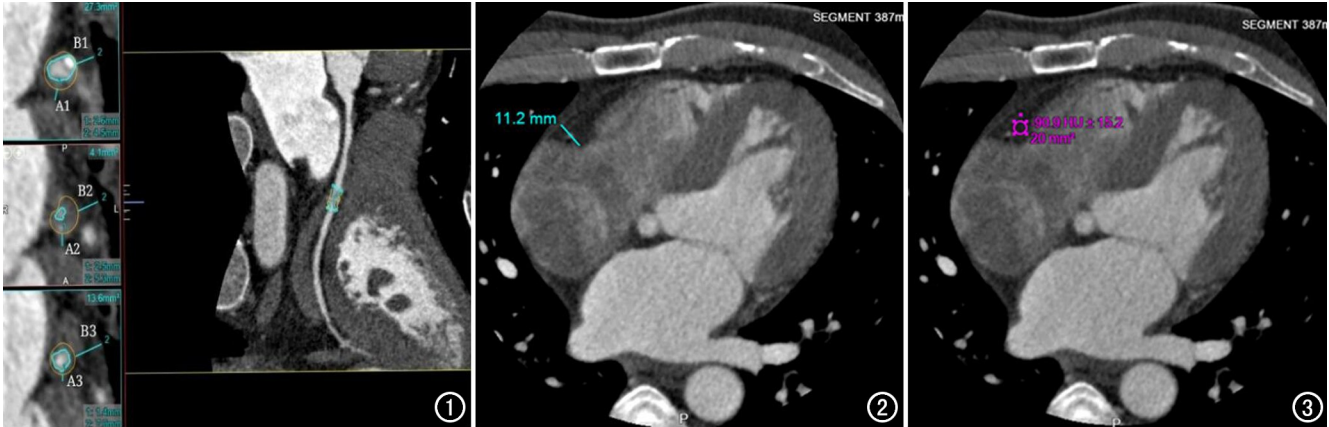


图 1 PCAT 比值测量,PCAT 比值=2(A2+B2)/(A1+B1+A3+B3)。 图 2 CCTA 测量右冠状动脉周围 EAT 厚度。 图 3 CCTA 测量右冠状动脉周围 EAT CT 值。

大小诊断效率由高到低依次为:低衰减 NCP、NCP、TP、PCAT 比值、中衰减 NCP,见图 4。

讨 论

ACS 是由急性心肌缺血引起的一组临床综合征,冠状动脉粥样硬化不稳定斑块的破裂或糜烂所致的完全或不完全闭塞性血栓形成是主要的病理学基础^[6]。因此,定量评估冠状动脉斑块性质对心血管疾病危险分层以及指导个体化一、二级预防具有一定的临床价值。研究表明^[7],与冠状动脉血管狭窄率相比,斑块性质的评估对心血管不良事件的预测价值更高。本研究结果显示,ACS 组冠脉病变狭窄率高于 SAP 组,但两组间差异无统计学意义,这与有关报道^[8]一致,可见狭窄率并不能单独应用于心血管疾病危险程度的分层和管理,也无法完全满足 ACS 防治的要求。

韦章诚等^[9]研究发现,ACS 组的 NCP、TP 负荷、RI 及狭窄率均高于 SAP 组,差异有统计学意义($P=0.000$),证实斑块成分特征与 ACS 发生有着不同程度的关联。另有研究表明^[10],斑块负荷较大的病变是心血管不良事件发生一致且普遍的预测因子,并且 ACS 与 SAP 患者相比,前者 NCP 对 TP 负荷的贡献更大。本研究结果显示,ACS 患者的 TP、NCP 负荷均高于 SAP 患者,而 CP 负荷两组间无明显差异,原因可能是 ACS 患者的斑块类型主要为 NCP,它富含巨噬细胞等多种炎性细胞,同时分隔血液和斑块的纤维帽菲薄,故其分泌的组织因子和蛋白酶很容易将薄的纤维帽溶解,导致斑块破裂、引发血栓形成,进而增加急性心血管事件发生的风险;而 CP 的主要成分为羟基磷灰石,其并不构成动脉粥样硬化斑块的炎症成分,因此 CP 通常比较稳定,多见于 SAP 患者。

研究发现^[11],与 SAP 患者相同狭窄率的斑块相比,ACS 患者的罪犯病变斑块往往表现为低衰减、正性重构更大的特点。有研究证实^[12],连续 CCTA 检测出的高危斑块(high risk plaque,HRP)进展是 ACS 的独立预测指标,其中 ACS 患者中低衰减斑块(low attenuation plaque,LAP)出现的频率明显高于 SAP 患者。已往的研究并未对 NCP 进行详细划分,故本研究采用半自动软件将 NCP 分为:低衰减($-30 \sim 30$ HU)、中衰减($31 \sim 130$ HU)、高衰减($131 \sim 350$ HU)的斑块负荷深入研究。结果发现,ACS 的罪犯病变与 SAP 患者相比其低、中衰减 NCP 负荷明显增加($P<0.05$),而高衰减 NCP 两组间差异无统计学意义,这与先前的研究结果一致^[12-13]。Motoyama 等^[14]研究发现,通过 CCTA 识别密度 ≤ 30 HU 的 NCP 与经血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)验证的冠状动脉粥样硬化易损斑块的坏死核心

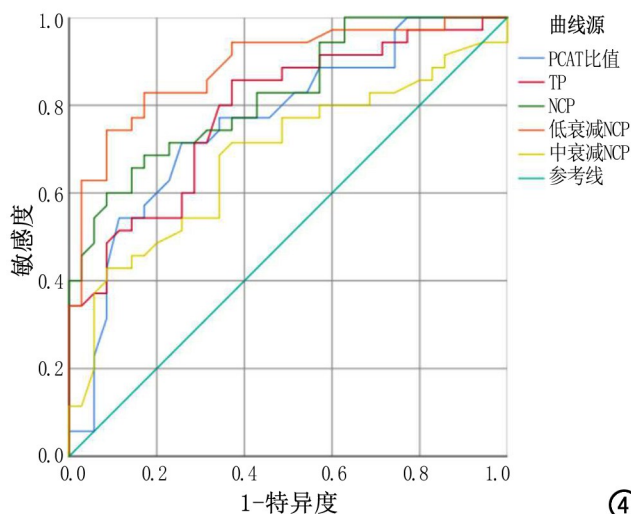


图 4 各类型斑块负荷、PCAT 比值对 ACS 诊断效能的 ROC 曲线。

密切相关,这就可以解释,本研究结果中低衰减 NCP 与 ACS 的关系密切,而高衰减 NCP 在两组间差异无统计学意义。此外 ROC 曲线显示,低衰减 NCP 的 AUC 值最大,且最佳临界点出现在敏感度及特异度值均为 82.9%时,整体表现最优,表明低衰减 NCP 对于 ACS 的诊断效能较其它类型斑块更高,需要重点关注。

本研究 CCTA 结果显示,ACS 患者 RI 均值为 1.1,正性重建比例高达 66%,以正性重建为主;而 SAP 患者 RI 均值为 0.8,正性重建比例仅占 20%,主要表现为负性重建。冠状动脉血管重建是指在冠状动脉粥样硬化过程中,管腔受血液动力学的作用其结构发生代偿性的变化。血管正性重建早期为了减少斑块对血管管腔的侵犯机体会代偿性降低管腔狭窄程度,但研究表明正性重建多与 ACS 发生密切相关,原因只能从斑块成分上的差异进行解释。ACS 患者的斑块类型主要为 NCP,通常有着薄纤维帽的 NCP 容易出现血管重建的生物学行为,且以正性重建为主;随着病程进展,斑块钙盐沉积,病情处于相对稳定状态,此时管腔已基本丧失代偿能力,进而发生负性重建^[15],因此血管重建与斑块成分关系密切,相信随着影像学技术的不断发展,其具体发生机制还会得到不断的揭示。

由于 PCAT 在生理解剖上最接近冠状动脉,故当 PCAT 功能失调时可产生大量炎症细胞因子直接作用于血管壁,进而促进动脉粥样硬化斑块的发生与发展,因此它与冠心病的关系可能比整个心包脂肪组织的关系更为密切^[16]。哈佛大学医学院研究团队^[17]分析 1403 例 ACS 患者的 CCTA 和临床资料,发现 PCAT 内出现的“fat stranding”表型可用于预测急性斑块破

裂或自发性冠脉夹层的风险,以及识别潜在高风险斑块的存在。国外学者^[18]研究发现,EAT 的 CT 值与冠状动脉钙化积分(Agaston 评分)呈显著负相关,并提出 EAT 的 CT 值对于冠状动脉病变具有潜在预测价值。Okubo 等^[19]通过测量 103 例患者的 PCAT 厚度,发现易损斑块与 PCAT 厚度有关,而与心外膜脂肪组织厚度无关,其中高 PCAT 比值(>1.19)是斑块易损性的独立相关因素。本研究采用同样的测量方法结果显示,PCAT 比值在 ACS 与 SAP 患者中差异具有统计学意义($P<0.001$),而 EAT 厚度及密度显示无差异,原因可能与 PCAT 表型的多样性以及其在生理解剖上距离冠状动脉较整个心外膜脂肪组织更近、产生的炎性反应程度更强有关;其次本研究样本量较少且未对研究对象的年龄、BMI 进行分层,未来需要扩大样本量并对年龄、BMI 严格分层后进行研究。ROC 曲线显示,PCAT 比值的 AUC 值 0.762(95% CI:0.648~0.875),敏感度 71.4%,特异度 74.3%,在本研究中 PCAT 比值为定量指标,不能充分反映脂肪组织的炎性活动程度,相比之下 PCAT CT 衰减这种新型影像学生物指标的改变对 ACS 的诊断可能会更具有意义,未来需要更大规模、前瞻性的研究进一步证实。

随着 CT 技术的快速发展,CCTA 在心血管成像领域以其无创、快速、高分辨率成像等优势,已然成为冠心病患者的首选检查手段。通过 CCTA 定量斑块特征及血管周围脂肪组织综合评估病情,有助于冠心病危险程度的分层、治疗与管理,值得临床合理推广应用。本研究的不足:样本量较少、存在一定选择偏倚;目前国内外文献对于血管周围脂肪组织的测量方法尚无统一标准;在 CCTA 检查中存在部分斑块与对比剂的 CT 值重叠,容易受部分容积效应影响。笔者今后将扩大样本量,并增加 PCAT CT 衰减这种新型影像学生物指标进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘震,韩金花,张佩娟,等. 64 层螺旋 CT 对急性冠脉综合征患者斑块成分的临床研究[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2017,15(10):84-87.
- [2] 杨炜琦,周伯良,张雪莲,等.50 岁以下女性急性冠脉综合征患者危险因素及冠状动脉病变特点[J].贵州医药,2017,41(2):169-171.
- [3] Skiba DS, Nosalski R, Mikolajczyk TP, et al. Anti-atherosclerotic effect of the angiotensin 1~7 mimetic AVE0991 is mediated by inhibition of perivascular and plaque inflammation in early atherosclerosis[J]. Br J Pharmacol, 2017, 174(22): 4055-4069.
- [4] Maurovich-horvat P, Kallianos K, Engel LC, et al. Influence of pericoronary adipose tissue on local coronary atherosclerosis as assessed by a novel MDCT volumetric method[J]. Atherosclerosis, 2011, 219(1): 151-157.
- [5] Goeller M, Achenbach S, Cadet S, et al. Pericoronary adipose tissue computed tomography attenuation and high-risk plaque characteristics in acute coronary syndrome compared with stable coronary artery disease[J]. JAMA Cardiol, 2018, 3(9): 858-863.
- [6] 中华医学会心血管病学分会, 中华心血管病杂志编辑委员会. 急性 ST 段抬高型心肌梗死诊断和治疗指南[J]. 中华心血管病杂志, 2015, 43(5): 380-393.
- [7] 张圆圆, 孟秀君, 田沈, 等. 颈部彩色多普勒超声、CT 血管成像与数字减影血管造影诊断颈内动脉狭窄、斑块形态及溃疡的准确性比较[J]. 中国全科医学, 2015, 18(30): 3763-3768.
- [8] 汤艳萍, 李令建. 64 排螺旋 CT 与选择性冠状动脉造影评价急性冠状动脉综合征患者易损斑块形态、成分及大小的价值对比研究[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(8): 1181-1185.
- [9] 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.
- [10] Kubo T, Maehara A, Mintz GS, et al. The dynamic nature of coronary artery lesion morphology assessed by serial virtual histology intravascular ultrasound tissue characterization[J]. J Am Coll Cardiol, 2010, 55(15): 1590-1597.
- [11] Benedek T, Gyongyosi M, Benedek I. Multislice computed tomographic coronary angiography for quantitative assessment of culprit lesions in acute coronary syndromes[J]. Can J Cardiol, 2013, 29(3): 364-371.
- [12] Motoyama S, Ito H, Sarai M, et al. Plaque characterization by coronary computed tomography angiography and the likelihood of acute coronary events in mid-term follow-up[J]. J Am Coll Cardiol, 2015, 66(4): 337-346.
- [13] Hell MM, Motwani M, Otaki Y, et al. Quantitative global plaque characteristics from coronary computed tomography angiography for the prediction of future cardiac mortality during long-term follow-up[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2017, 18(12): 1331-1339.
- [14] Motoyama S, Kondo T, Anno H, et al. Atherosclerotic plaque characterization by 0.5mm-slice multislice computed tomographic imaging[J]. Circ J, 2007, 71(3): 363-366.
- [15] 李岳军, 闫继锋. 双源 CT 与冠状动脉血管内超声评估冠状动脉粥样硬化斑块价值的对照研究[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2016, 30(5): 463-466.
- [16] Hassan M, Said K, Rizk H, et al. Segmental peri-coronary epicardial adipose tissue volume and coronary plaque characteristics[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2016, 17(10): 1169-1177.
- [17] Hedgire S, Baliyan V, Zucker EJ, et al. Perivascular epicardial fat stranding at coronary CT angiography: A marker of acute plaque rupture and spontaneous coronary artery dissection[J]. Radiology, 2018, 287(3): 808-815.
- [18] Franssens BT, Nathoe HM, Visseren FL, et al. Relation of epicardial adipose tissue radiodensity to coronary artery calcium on cardiac computed tomography in patients at high risk for cardiovascular disease[J]. Am J Cardiol, 2017, 119(9): 1359-1365.
- [19] Okubo R, Nakanishi R, Toda M, et al. Pericoronary adipose tissue ratio is a stronger associated factor of plaque vulnerability than epicardial adipose tissue on coronary computed tomography angiography[J]. Heart Vessels, 2017, 32(7): 813-822.

(收稿日期:2020-06-12 修回日期:2020-08-19)