

血管内超声衰减斑块的研究进展

林子健 许俊炜 陈剑 陈柏荣 罗礼云

(中山大学附属第五医院心血管病中心, 广东 珠海 519000)

【摘要】 衰减斑块是血管内超声识别的伴有超声衰减现象的易损斑块特征之一,其主要病理特征为具有巨大脂质坏死核心,衰减斑块成分中的胆固醇结晶及点状钙化对超声的折射和吸收导致超声波无法穿过斑块而表现为超声衰减现象,常见于急性冠脉综合征,与冠心病患者主要不良心血管事件增加相关,且增加经皮冠状动脉介入治疗术中无复流、围手术期心肌坏死及斑块脱垂等并发症的发生风险。现从衰减斑块的定义、病理机制、临床意义、预后及临床治疗策略等方面进行综述,同时对人工智能及血管内超声/光学相干断层扫描集合导管在衰减斑块领域的新技术应用方面进行展望。

【关键词】 冠心病;经皮冠状动脉介入治疗;血管内超声;衰减斑块

【DOI】10.16806/j.cnki.issn.1004-3934.2023.04.006

Attenuated Plaque Identified by Intravascular Ultrasound

LIN Zijian, XU Junwei, CHEN Jian, CHEN Bairong, LUO Liyun

(Cardiovascular Center, The Fifth Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Zhuhai 519000, Guangdong, China)

【Abstract】 Attenuated plaque is one of the features of the vulnerable plaque with ultrasound attenuation phenomenon identified by intravascular ultrasound, which is characterized by containing a large lipid necrotic core. The cholesterol crystals and spotty calcification in the attenuated plaque refracted and absorbed the ultrasound, which resulted in the ultrasound unable to pass through the plaque, and led to ultrasound attenuation phenomenon. Attenuated plaque is commonly seen in patients with acute coronary syndrome, and is associated with an increased risk for major adverse cardiovascular events in patients with coronary heart disease, and increases the risk of complications such as no reflow during percutaneous coronary intervention, perioperative myocardial necrosis and plaque prolapse. In this paper, we will review the definition, pathological mechanism, clinical significances, prognosis and clinical treatment strategies of coronary ultrasound attenuated plaque, and prospect the application of artificial intelligence and intravascular ultrasound/optical coherence tomography converging catheter in the field of coronary ultrasound attenuated plaque.

【Key words】 Coronary heart disease; Percutaneous coronary intervention; Intravascular ultrasound; Attenuated plaque

血管内超声(intravascular ultrasound, IVUS)通过导管技术将微型超声探头送入血管腔内,显示血管横截面图像,从而提供在体血管腔内影像。因其具有定性分析和定量测量冠状动脉病变的优势,被广泛应用于冠心病的诊断及治疗^[1]。IVUS已被ACC/AHA/SCAI冠状动脉血运重建指南推荐用于评估左主干病变严重程度、确定支架失败的机制及优化支架植入^[2]。衰减斑块(attenuated plaque, AP)是一种IVUS识别的伴有超声衰减现象的易损斑块^[3-5],其主要见于急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS),特别是急性心肌梗死^[6],被认为与经皮冠状动脉介入治疗(percutaneous coronary intervention, PCI)中无复流、围手术期心肌坏死(periprocedural myocardial necrosis, PMN)、主要不良心血管事件(major adverse

cardiovascular events, MACE)风险增加相关^[7-10]。现从AP的定义、病理机制、临床意义、预后及临床治疗策略等方面进行综述,同时对人工智能及IVUS/光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)集合导管在AP评估中的应用进行展望。

1 AP的定义及其病理特征

易损斑块是指具有血栓形成或罪犯病变倾向的动脉粥样硬化斑块^[3,11],AP是易损斑块的一种IVUS影像特征,其通常被定义为伴后方声影强度减弱或缺失的非钙化无亮钙影斑块,斑块后方组织无法显影,出现超声衰减现象。但在某些研究中AP还需满足超声衰减弧度 $>90^\circ$,病变纵向长度 $>1\text{ mm}$ 的附加条件^[12-14],这可能与超声衰减弧度 $>90^\circ$ 的罪犯病变PCI术中无复流的风险更高,以及虚拟组织学IVUS对帧

数识别的限制有关。AP 发生超声衰减现象的病理机制与其成分中的胆固醇结晶及点状钙化对超声波的折射和吸收,导致超声波无法穿过斑块相关^[15-16]。

AP 的形成与含巨大坏死核心的纤维粥样斑块及伴有病理性内膜增厚的脂质池有关^[15,17]。当斑块负荷 >40% 时,AP 的发生率最高。对于 AP 而言,近管腔面的超声衰减几乎仅见于含坏死核心的斑块,近管腔面的超声衰减常提示成熟坏死核心,而近外膜的超声衰减则常提示为伴病理性内膜增厚的早期脂质池^[18]。Kimura 等^[6]通过分析 AP 病理标本发现 AP 主要由胆固醇结晶、巨噬细胞渗出和点状钙化构成。Pu 等^[15]发现 99.3% 的 AP 超声衰减弧度 >30°,91.4% 的 AP 存在伴有坏死核心/病理性内膜增厚和脂质池的纤维粥样硬化斑块。

2 AP 的临床意义

2.1 AP 与冠心病患者 MACE

AP 被认为与冠心病患者 MACE 发生率增加相关。Shishikura 等^[7]发现冠心病患者 AP 的存在及进展与 MACE(死亡、心肌梗死、卒中、冠状动脉血运重建)发生率增加相关,AP 进展被定义为随访过程中 AP 衰减指数的增加,其可能与基线斑块特征相关,他汀类药物或可通过改变 AP 的斑块特征,改善患者临床转归。

相较稳定型冠心病,AP 更常见于 ACS 中,尤其是急性 ST 段抬高心肌梗死(ST-segment elevation myocardial infarction,STEMI)患者^[6]。HORIZONS-AMI 研究^[14]中,78% 的急性心肌梗死患者存在 AP;而在 Lee 等^[19]的研究中,AP 在 STEMI 患者中的发生率为 39.6%,在非 ST 段抬高心肌梗死中为 17.6%。存在 AP 的 ACS 患者的斑块负荷和重构指数等指标更高,病变部位管腔横截面积更小,并且血栓、心肌梗死溶栓试验(thrombolysis in myocardial infarction,TIMI)血流分级 <2 级、正性重构及斑块破裂也更为常见^[18-19]。

但对存在 AP 的 ACS 患者 PCI 术后长期随访的研究中发现,AP 的存在似乎并不增加 ACS 患者远期不良预后的风险。一项 meta 分析^[20]提示 AP 虽然可引起 ACS 患者 PCI 术中慢血流/无复流现象及远端栓塞的发生,但是对术后 3 年内的 MACE 发生率无明显影响。Okura 等^[21]发现相较于无 AP 的 ACS 患者,虽然存在 AP 的 ACS 患者首次球囊扩张后的校正 TIMI 帧数更高,但两组间的血栓抽吸和血管内药物使用后的校正 TIMI 帧数、住院期间致命性心律失常的发生率、住院死亡率和中位随访时间为 6.2 年的无心血管事件生存率并无统计学差异。贾若飞等^[22]的研究表明,AP 的存在对急性心肌梗死患者 PCI 术后 1 年内的

MACE 发生并无明显影响。耿学斌等^[23]前瞻性研究了 AP 对 ACS 患者 PCI 近远期的预后影响,发现存在 AP 的 ACS 患者的血管外弹性膜面积、斑块面积、斑块负荷、重构指数均较无 AP 的患者更高,AP 组近期总并发症的发生率也更高,但长期随访过程中,两组的 MACE 发生率并无统计学差异,这可能与围手术期药物的使用(替罗非班、腺苷、维拉帕米等)及随访过程中斑块稳定性增高相关^[23-24]。

2.2 AP 与急性心肌梗死患者 PCI 术中无复流

研究^[14,16-17,25]表明,AP 与急性心肌梗死患者 PCI 术中无复流的发生相关,而术中无复流被认为与临床不良预后相关。Wu 等^[14]发现在急性心肌梗死患者中,AP 平均衰减弧度评分是 PCI 术中无复流的最强预测因子(最佳预测值 ≥2 分),平均衰减弧度评分 ≥2 分者发生无复流的风险是 <2 分者的 10 倍。此外,研究^[14]表明 PCI 术中无复流的发生风险与 AP 的斑块体积呈正相关。

AP 引起急性心肌梗死患者 PCI 术中无复流的发生可能与 PCI 过程中病变远端微血管阻塞、血栓栓塞或斑块破裂相关^[14,26]。Shiono 等^[26]通过分析 STEMI 患者 PCI 术前 IVUS 和术后 1 周的心脏磁共振结果,发现微血管阻塞组与非微血管阻塞组的 AP 比例相近,但前者 AP 的病变纵向长度及最大衰减弧度更大,因此最大衰减弧度 >180°且病变纵向长度 >5 mm 的 AP 是 PCI 术后微血管阻塞的独立预测因子。AP 患者 PCI 术后微血管阻塞可能与 PCI 引起罪犯病变处斑块破裂,脂质等斑块成分释放引起微血管阻塞有关,远端保护装置或药物等治疗策略或可通过预防远端栓塞,从而降低 AP 患者术中无复流的发生风险。

2.3 AP 与 PCI 术后 PMN 及心肌损伤

PMN 被定义为 PCI 术后肌钙蛋白或超敏肌钙蛋白水平升高,被认为与 PCI 术后 MACE 增加相关^[9]。Hoshino 等^[9]发现 AP 是稳定型心绞痛患者围手术期中、重度 PMN 的独立预测因素之一,其中,AP 病变纵向长度是重度 PMN 的独立预测因子,PMN 的发生可能与 AP 成分中的富脂成分和坏死核心引起术中斑块栓塞或微血管阻塞相关。此外 Kimura 等^[10]发现 AP 是稳定型心绞痛患者围手术期心肌损伤的独立预测因子之一。

2.4 AP 与 PCI 术中斑块脱垂

斑块脱垂是指斑块组织突入支架空隙形成组织挤压^[27]。在接受了药物洗脱支架植入的稳定型或不稳定型心绞痛患者中,有 AP 者发生斑块脱垂的风险更高^[8]。ADAPT-DES 研究^[28]表明,与 PCI 术中无斑块脱垂组比较,PCI 术中斑块脱垂组的 AP 比例更高。

同时 PCI 术中斑块脱垂组的坏死核心体积百分比和致密钙体积百分比更高,而这两个特征被认为与 AP 的形成密切相关。此外,有研究^[29]认为 AP 是支架边缘夹层的独立预测因素之一。

2.5 AP 与其他临床特征的相关性研究

AP 与其他临床特征也存在一定联系,如睡眠呼吸障碍、血小板反应性、高密度脂蛋白胆固醇 (highdensity lipoprotein-cholesterol, HDL-C) 等。Wada 等^[30]发现在接受了 PCI 的睡眠呼吸障碍患者中,AP 发生风险并无明显升高,但 AP 的最大衰减弧度更大,睡眠呼吸障碍是 AP 衰减弧度 $>140^\circ$ 的显著预测因子。此外,Yun 等^[31]研究发现在伴有高血小板反应性的冠心病患者中,AP 发生率并无明显升高,但其病变纵向长度更长。此外,Kitabata 等^[32]报道称 AP 在低水平 HDL-C (HDL-C <1.03 mmol/L) 的 ACS 患者中更为常见,这可能与低水平 HDL-C 难以发挥调节胆固醇转运及抗动脉粥样硬化作用有关。

3 PCI 术中无复流的预防及治疗

由于血栓抽吸、腔内血管成形术等操作可能会引起 AP 的形态结构改变,甚至斑块破裂而导致微循环障碍及无复流的发生,因此有学者提出在 AP 患者中应用远端滤器保护装置以预防 PCI 术中无复流的发生。Hibi 等^[25]将 AP 病变纵向长度 ≥ 5 mm 的 ACS 患者,随机分组接受远端滤器保护装置 (distal protection, DP 组) 或常规 PCI (conventional treatment, CT 组) 治疗,DP 组的 PCI 术中无复流发生率和 MACE 发生率均明显低于 CT 组,结果表明 DP 组患者 PCI 术中无复流及血运重建后严重心脏不良事件的风险更低。此外,研究建议在支架植入术后在冠状动脉造影前立即抽吸漂浮碎片以预防远端滤器近端栓塞。而在另一项 VAMPIRE 3 研究中,Hibi 等^[33]分析了接受 PCI 的 AP 患者在使用远端滤器保护装置后的长期临床转归,发现 DP 组随访 1 年内的 MACE 发生率高于 CT 组 (12.2% vs 3.1%),其主要原因是 DP 组的再次血运重建风险更高 (11.2% vs 2.1%)。在使用裸金属支架治疗的患者中,DP 组中 25.0% 的患者出现 MACE,CT 组无 MACE 发生;而在使用药物洗脱支架治疗的患者中,两组间随访 1 年内的 MACE 发生率无统计学差异。因此,在存在 AP 的 ACS 患者中,DP 组的患者随访 1 年内的 MACE 发生率要高于 CT 组,但药物洗脱支架的使用可能会减小这种不良影响。

4 其他影像技术对 AP 的评估及研究

不同影像技术常被联合应用于 AP 的识别及评估。既往研究^[34]表明冠状动脉计算机断层成像血管造影识别的低衰减斑块 (computed tomography

angiography-low attenuation plaque, CTA-LAP) 在诊断 AP 上和 IVUS 存在高度的一致性。此外,IVUS 识别的 AP (IVUS-AP) 和 CT 值 <0 HU 的冠状动脉计算机断层成像血管造影识别的极低衰减斑块 (computed tomography angiography-very low attenuation plaque, CTA v-LAP) 均被认为与 PCI 术中无复流相关。在稳定型冠心病患者中,IVUS-AP 和 CTA v-LAP 预测 PCI 术中无复流发生的阳性预测值、阴性预测值和准确性几乎相等,且 IVUS-AP/CTA v-LAP 联合分析可在不降低阴性预测值的基础上,显著提高对 AP 的阳性预测值和诊断准确率^[35]。

有研究者认为 AP 是巨大坏死核心和薄纤维帽粥样硬化斑块 (thin-cap fibroatheroma, TCFA) 的标志特征之一^[16,36]。Kang 等^[4]发现 AP 最大衰减弧度 $\geq 29^\circ$ 是预测虚拟组织学 IVUS 识别的 TCFA 和 OCT 识别的 TCFA 的研究截断值,但斑块负荷过高可能会干扰其预测效能;AP 的衰减弧度 $\geq 30^\circ$ 与斑块病变程度及不稳定性特征增加 (IVUS 识别的最小管腔面积减小,斑块负荷增加、斑块破裂倾向增加等)、支架植入术后的肌酸激酶同工酶水平升高相关。

5 腔内影像技术研究 AP 的新探索

5.1 人工智能评估 AP

针对 AP 等斑块特征的人工智能和机器深度学习算法,有利于促进人工智能识别 AP 等高危斑块的应用。Cho 等^[13]通过建立基于 IVUS 的冠状动脉斑块特征人工智能分析模型,以自动化分析 AP 等斑块特征;研究将冠心病患者的 IVUS 图像集随机分组为训练集和测试集,周向标记间距 0.4 mm 的 IVUS 图像帧为 AP、钙化斑块或无衰减/钙化的斑块。集合模型在角度水平上,识别 AP、钙化斑块或无衰减/钙化的斑块的骰子相似系数分别为 0.79、0.74 和 0.99;测试集内进行斑块分类的最大准确率为 98%;而在图像帧水平上,识别 AP 的总准确率为 93% (特异度 96%、灵敏度 80%),且感兴趣区域的模型测量与人工测量的衰减负荷指数相关性显著 ($r=0.894$)。人工智能和机器深度学习算法对于 AP 等斑块特征的复杂分析或可对罪犯病变的未来心血管风险进行分层,以期协助临床策略的制定实施,改善患者转归。

5.2 IVUS/OCT 集合导管评估 AP

CONAVI 和 TERUMO 公司研发的 IVUS/OCT 集合导管,综合了 IVUS 和 OCT 的穿透深度和分辨率,可更加全面地反映冠状动脉病变^[1]。IVUS 可有效识别 AP 的存在,OCT 虽然无法识别 AP,但在测量斑块纤维帽厚度及识别 AP 患者 PCI 术中可能出现的斑块破裂、斑块脱垂等方面具有显著优势。IVUS/OCT 集合

导管的应用有助于从不同角度深入了解 AP 特征,并为 PCI 治疗提供更多信息,但目前 IVUS/OCT 集合导管在识别、评估 AP 等易损斑块特征上仍有待进一步研究。

6 总结

综上,AP 是一种 IVUS 识别的伴有超声衰减现象的易损斑块,病理特征存在坏死核心或大脂质池的纤维粥样硬化斑块,综合运用冠状动脉 CTA、IVUS、预测虚拟组织学 IVUS、近红外光谱 IVUS、OCT 及基于 IVUS 的人工智能技术等多种手段对 AP 的评估可量化其特征。目前研究发现 AP 更常见于 ACS 患者,AP 的存在可增加冠心病患者 MACE 发生率,在冠心病介入治疗过程中,特别是急性心肌梗死患者 PCI 时,存在 AP 的患者更易出现无复流及围手术期心肌坏死、斑块脱垂。通过对 AP 的精确识别,远端滤器保护装置及药物预防或可降低 PCI 术中无复流的发生率,但 AP 是否影响 ACS 患者的长期临床转归仍存在争议,通过多种检测方法对 AP 的特点进行深入、综合分析,或可进一步发现高危 AP,为其不良临床转归提供更多研究依据。

参考文献

- [1] Ono M, Kawashima H, Hara H, et al. Advances in IVUS/OCT and future clinical perspective of novel hybrid catheter system in coronary imaging [J]. *Front Cardiovasc Med*, 2020, 7:119.
- [2] Lawton JS, Tamis-Holland JE, Bangalore S, et al. 2021 ACC/AHA/SCAI Guideline for coronary artery revascularization: executive summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. *Circulation*, 145, 3 (2022): e4-e17.
- [3] 张迪瑞, 何路平, 于波. 腔内影像学对冠状动脉易损斑块的识别与治疗最新进展 [J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2021, 29 (9): 520-522.
- [4] Kang SJ, Ahn JM, Han S, et al. Multimodality imaging of attenuated plaque using grayscale and virtual histology intravascular ultrasound and optical coherent tomography [J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2016, 88 (1): e1-e11.
- [5] Hong YJ, Ahn Y, Jeong MH. Role of intravascular ultrasound in patients with acute myocardial infarction [J]. *Korean Circ J*, 2015, 45 (4): 259-265.
- [6] Kimura S, Kakuta T, Yonetsu T, et al. Clinical significance of echo signal attenuation on intravascular ultrasound in patients with coronary artery disease [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2009, 2 (5): 444-454.
- [7] Shishikura D, Kataoka Y, di Giovanni G, et al. Progression of ultrasound plaque attenuation and low echogenicity associates with major adverse cardiovascular events [J]. *Eur Heart J*, 2020, 41 (31): 2965-2973.
- [8] Wu XF, Guo CJ, Chi YP, et al. Attenuated plaque is associated with plaque prolapse accompanied by cardiac enzyme elevation after drug-eluting stent implantation [J]. *Coron Artery Dis*, 2014, 25 (1): 4-9.
- [9] Hoshino M, Yonetsu T, Murai T, et al. Multimodality coronary imaging to predict periprocedural myocardial necrosis after an elective percutaneous coronary intervention [J]. *Coron Artery Dis*, 2018, 29 (3): 237-245.
- [10] Kimura S, Sugiyama T, Hishikari K, et al. Association of intravascular ultrasound- and optical coherence tomography-assessed coronary plaque morphology with periprocedural myocardial injury in patients with stable angina pectoris [J]. *Circ J*, 2015, 79 (9): 1944-1953.
- [11] Hafiane A. Vulnerable plaque, characteristics, detection, and potential therapies [J]. *J Cardiovasc Dev Dis*, 2019, 6 (3): 26.
- [12] Pu J, Mintz GS, Brilakis ES, et al. In vivo characterization of coronary plaques: novel findings from comparing greyscale and virtual histology intravascular ultrasound and near-infrared spectroscopy [J]. *Eur Heart J*, 2012, 33 (3): 372-383.
- [13] Cho H, Kang SJ, Min HS, et al. Intravascular ultrasound-based deep learning for plaque characterization in coronary artery disease [J]. *Atherosclerosis*, 2021, 324: 69-75.
- [14] Wu X, Mintz GS, Xu K, et al. The relationship between attenuated plaque identified by intravascular ultrasound and no-reflow after stenting in acute myocardial infarction: the HORIZONS-AMI (Harmonizing Outcomes With Revascularization and Stents in Acute Myocardial Infarction) trial [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2011, 4 (5): 495-502.
- [15] Pu J, Mintz GS, Biro S, et al. Insights into echo-attenuated plaques, echolucent plaques, and plaques with spotty calcification: novel findings from comparisons among intravascular ultrasound, near-infrared spectroscopy, and pathological histology in 2,294 human coronary artery segments [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2014, 63 (21): 2220-2233.
- [16] Amano H, Wagatsuma K, Yamazaki J, et al. Virtual histology intravascular ultrasound analysis of attenuated plaque and ulcerated plaque detected by gray scale intravascular ultrasound and the relation between the plaque composition and slow flow/no reflow phenomenon during percutaneous coronary intervention [J]. *J Interv Cardiol*, 2013, 26 (3): 295-301.
- [17] Endo M, Hibi K, Shimizu T, et al. Impact of ultrasound attenuation and plaque rupture as detected by intravascular ultrasound on the incidence of no-reflow phenomenon after percutaneous coronary intervention in ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2010, 3 (5): 540-549.
- [18] 王江友, 鄂华. 血管内超声在急性心肌梗死患者中的应用 [J]. *中华老年心脑血管病杂志*, 2016, 18 (7): 762-765.
- [19] Lee T, Kakuta T, Yonetsu T, et al. Assessment of echo-attenuated plaque by optical coherence tomography and its impact on post-procedural creatine kinase-myocardial band elevation in elective stent implantation [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2011, 4 (5): 483-491.
- [20] Jia R, Nie X, Li H, et al. Impact of attenuated plaques on TIMI grade flow and clinical outcomes of coronary artery disease patients: a systematic review and meta analysis [J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8 (3): 527-536.
- [21] Okura H, Kataoka T, Yoshiyama M, et al. Long-term prognostic impact of the attenuated plaque in patients with acute coronary syndrome [J]. *Heart Vessels*, 2016, 31 (1): 23-28.
- [22] 贾若飞, 朱华刚, 李响, 等. 血管内超声探测的衰减斑块对经皮冠状动脉介入治疗患者术中及术后的影响: 12 个月临床随访结果 [J]. *中国介入心脏病学杂志*, 2016, 24 (5): 266-271.
- [23] 耿学斌, 李莉, 王宏岭, 等. 衰减斑块对急性冠状动脉综合征患者冠状动脉介入治疗近远期临床结局的影响 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2015, 24 (6): 492-495.
- [24] Xu K, Mintz GS, Kubo T, et al. Long-term follow-up of attenuated plaques in patients with acute myocardial infarction: an intravascular ultrasound substudy of the HORIZONS-AMI trial [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2012, 5 (2): 185-192.
- [25] Hibi K, Kozuma K, Sonoda S, et al. A randomized study of distal filter protection versus conventional treatment during percutaneous coronary intervention in patients with attenuated plaque identified by intravascular ultrasound [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2018, 11 (16): 1545-1555.
- [26] Shiono Y, Kubo T, Tanaka A, et al. Impact of attenuated plaque as detected by intravascular ultrasound on the occurrence of microvascular obstruction after percutaneous coronary intervention in patients with ST-segment elevation myocardial infarction [J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2013, 6 (8): 847-853.

- enalapril in heart failure[J]. *N Engl J Med*, 2014, 371(11):993-1004.
- [28] Sohns C, Ouyang F, Volkmer M, et al. Therapy of ventricular arrhythmias in patients suffering from isolated left ventricular non-compaction cardiomyopathy [J]. *Europace*, 2019, 21(6):961-969.
- [29] 幸莫霞, 徐海, 徐耀凤, 等. 抗凝治疗对心肌致密化不全患者体循环栓塞发病率的影响[J]. *中国老年学杂志*, 2016, 36(21):5281-5283.
- [30] Kido K, Guglin M. Anticoagulation therapy in specific cardiomyopathies: isolated left ventricular noncompaction and peripartum cardiomyopathy[J]. *J Cardiovasc Pharmacol Ther*, 2019, 24(1):31-36.
- [31] Tian T, Yang Y, Zhou L, et al. Left ventricular non-compaction: a cardiomyopathy with acceptable prognosis in children [J]. *Heart Lung Circ*, 2018, 27(1):28-32.
- [32] Vaidya VR, Lyle M, Miranda WR, et al. Long-term survival of patients with left ventricular noncompaction[J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(2):e015563.
- [33] Stämpfli SF, Erhart L, Hagenbuch N, et al. Prognostic power of NT-proBNP in left ventricular non-compaction cardiomyopathy [J]. *Int J Cardiol*, 2017, 236:321-327.
- [34] Ramchand J, Podugu P, Obuchowski N, et al. Novel approach to risk stratification in left ventricular non-compaction using a combined cardiac imaging and plasma biomarker approach [J]. *J Am Heart Assoc*, 2021, 10(8):e019209.

收稿日期:2022-07-17

(上接第 315 页)

- [27] Shen ZJ, Brugaletta S, Garcia-Garcia HM, et al. Comparison of plaque prolapse in consecutive patients treated with Xience V and Taxus Liberté stents[J]. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2012, 28(1):23-31.
- [28] Qiu F, Mintz GS, Witzenbichler B, et al. Prevalence and clinical impact of tissue protrusion after stent implantation: an ADAPT-DES intravascular ultrasound substudy[J]. *JACC Cardiovasc Interv*, 2016, 9(14):1499-1507.
- [29] Kobayashi N, Mintz GS, Witzenbichler B, et al. Prevalence, features, and prognostic importance of edge dissection after drug-eluting stent implantation: an ADAPT-DES intravascular ultrasound substudy [J]. *Circ Cardiovasc Interv*, 2016, 9(7):e003553.
- [30] Wada H, Dohi T, Kasai T, et al. Culprit plaque characteristics in patients with sleep-disordered breathing undergoing percutaneous coronary intervention: an intravascular ultrasound study[J]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(19):e009826.
- [31] Yun KH, Mintz GS, Witzenbichler B, et al. Relationship between platelet reactivity and culprit lesion morphology: an assessment from the aDAPT-DES intravascular ultrasound substudy [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(7):849-854.
- [32] Kitabata H, Loh JP, Pendyala LK, et al. Intravascular ultrasound analysis to determine the relationship between high-density lipoprotein cholesterol and lesion characteristics in patients with coronary artery disease [J]. *J Interv Cardiol*, 2014, 27(3):325-333.
- [33] Hibi K, Kozuma K, Maejima N, et al. Long-term clinical outcomes after filter protection during percutaneous coronary intervention in patients with attenuated plaque-1-year follow up of the VAMPIRE 3 (Vacuum Aspiration Thrombus Reemoval 3) trial[J]. *Circ J*, 2020, 85(1):44-49.
- [34] Munnur RK, Andrews J, Kataoka Y, et al. Quantitative and qualitative coronary plaque assessment using computed tomography coronary angiography: a comparison with intravascular ultrasound [J]. *Heart Lung Circ*, 2020, 29(6):883-893.
- [35] Okutsu M, Horio T, Tanaka H, et al. Predictive performance of dual modality of computed tomography angiography and intravascular ultrasound for no-reflow phenomenon after percutaneous coronary stenting in stable coronary artery disease[J]. *Heart Vessels*, 2018, 33(10):1121-1128.
- [36] Wu X, Maehara A, Mintz GS, et al. Virtual histology intravascular ultrasound analysis of non-culprit attenuated plaques detected by grayscale intravascular ultrasound in patients with acute coronary syndromes [J]. *Am J Cardiol*, 2010, 105(1):48-53.

收稿日期:2022-09-09