

论 著

主动脉周围脂肪组织影像学联合临床及CTA特征预测A型主动脉夹层术后短期不良事件

贾子涵 李海歌* 朱建国
蔡康杰 袁晓凡 杨涵
葛洋洋南京医科大学第二附属医院医学影像科
(江苏 南京 210011)

【摘要】目的 开发与验证基于主动脉周围脂肪组织(PVAT)影像学特征及其联合临床、CTA特征的预测模型,评估其对A型主动脉夹层(TAAD)术后短期不良事件(AE)的预测效能。**方法** 本研究采用纳入2015年1月至2024年12月收治的116例TAAD手术患者。通过随机分配将患者划分为训练集和验证集。患者根据术后是否发生AE分为AE组和非AE组。使用3D Slicer软件对术前CTA影像中主动脉破裂口PVAT进行三维分割,经影像学特征提取、降维后构建影像学模型。筛选临床及CTA特征,建立临床-CTA预测模型。整合组学预测参数与临床-CTA特征构建联合模型。通过受试者工作特征曲线(ROC)、DeLong检验评估模型的区分度。**结果** 联合模型的预测效能优于临床-CTA模型(AUC=0.939 vs 0.775, P=0.043),但与组学模型无显著差异(AUC=0.939 vs 0.881, P=0.138)。**结论** 基于PVAT影像学特征联合临床CTA特征构建的预测模型能有效预测TAAD术后AE高危患者。

【关键词】 A型主动脉夹层; 血管周围脂肪组织;
计算机断层血管造影; 影像学;
短期不良事件

【中图分类号】 R322.1+2

【文献标识码】 A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.045

Prediction of Short Term Adverse Events after Stanford Type A Aortic Dissection Surgery Based on Radiomics of Periaortic Adipose Tissue combined with Clinical and CTA Features

JIA Zi-han, LI Hai-ge*, ZHU Jian-guo, CAI Kang-jie, YUAN Xiao-fan, YANG Han, GE Yang-yang.
Department of Medical Imaging, Second Affiliated Hospital of Nanjing Medical University, Nanjin 210011, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective The study aims to develop and validate a prediction model based on perivascular adipose tissue (PVAT) radiomic features combined with clinical and CTA parameters, and to assess its predictive performance for adverse events (AE) after surgery for Stanford type A aortic dissection (TAAD). **Methods:** A retrospective analysis was conducted on TAAD patients who underwent TAAD surgery between January 2015 and December 2024. In total, the 116 patients with TAAD were enrolled in this study. Of these, the 116 patients were stratified into training and test cohorts. The patients were divided into the AE group and the non-AE group based on the occurrence of postoperative AE. The three-dimensional segmentation of PVAT from preoperative CTA images was performed using 3D Slicer software, followed by extraction of radiomic features. The features dimensionality reduction was accomplished, and ultimately the radiomics model was constructed. The intergroup comparison and multivariate logistic regression were employed to determine clinical factors and CTA parameters, and the clinical-CTA prediction model was established. The combined model was subsequently constructed by integrating the preoperative CTA radiomics features with the clinical-CTA predictive parameters. The predictive performances of the three models mentioned above were evaluated using the area under the receiver operating characteristic (ROC) curve. The DeLong test was used to compare the predictive performances of the three models. **Results:** The combined model demonstrated superior predictive performance, significantly outperforming clinical-CTA model (AUC=0.939 vs 0.775, P=0.043). But there was no significant difference between the combined model and the radiomics model (AUC=0.939 vs 0.881, P=0.138). **Conclusion:** The model integrating PVAT radiomics and clinical-CTA risks effectively predicts AE in patients after TAAD surgery.

Keywords: Stanford type A aortic dissection; Perivascular adipose tissue; Computed tomography angiography; Radiomics; Adverse events

急性Stanford A型主动脉夹层(type A aortic dissection, TAAD)是累及升主动脉的主动脉夹层类型。由于升主动脉紧邻心脏和心包,TAAD极易迅速引发B型夹层较少见的灾难性并发症,如心包填塞、主动脉根部破裂、冠状动脉受累致急性心肌梗死等^[1-2]。外科手术是临床实践中最有效的治疗方法^[3]。即使接受紧急外科干预,患者术后仍面临极高的不良事件风险,术后并发症进展迅猛,包括内漏、多器官衰竭、神经系统损伤、主动脉破裂等,相关研究表明TAAD术后院内死亡率高达20.6%^[4],显著高于B型夹层。虽然近年来TAAD的手术管理已取得长足进步,但术后高并发症率和高死亡率仍是严峻挑战^[3-4]。为优化围手术期治疗决策并更准确地评估患者术后结局,亟需建立能够预测TAAD患者预后的预测模型。

血管周围脂肪组织(perivascular adipose tissue, PVAT)是血管周围与血管外膜紧密相邻的脂肪组织,由于缺乏明确边界,既往研究往往将PVAT定义为围绕血管壁外径向距离等于1.0cm的任何脂肪组织^[5]。健康状态下PVAT分泌血管保护性脂肪因子,促进血管舒张并发挥抗炎、抗氧化作用,血管发生炎症时PVAT与相邻的血管壁相互作用,可抑制血管周围脂肪组织内前体脂肪细胞的分化和脂质积聚,这将导致其在CTA图像上的对比由脂相向水相发生变化^[6]。影像学技术能够从常规医学影像(如CT、MRI)中自动化地提取海量特征,量化表征PVAT在密度、纹理等方面的内部异质性,将其转化为可供深度挖掘的高维数据,这为临床医生制定个体化治疗方案提供了新的思路与工具^[7]。近年来,多项研究已证实PVAT影像学在冠心病辅助诊断、不良心血管事件风险预测以及疾病进展评估方面具有显著的潜在价值^[8-9]。然而,PVAT影像学能否用于预测TAAD术后短期不良事件(adverse event, AE)的相关研究较少。

本研究旨在探讨基于TAAD破裂口周围脂肪组织影像学联合临床CTA特征在预测AE的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性选取2015年至2024年进行主动脉CTA检查并接受主动脉手术的TAAD患者的资料。

【第一作者】 贾子涵,男,住院医师,主要研究方向:心血管影像。E-mail: 1097395018@qq.com

【通讯作者】 李海歌,女,主任医师,主要研究方向:乳腺及心脏磁共振影像。E-mail: lihaige@njmu.edu.cn

纳入标准：经主动脉CTA确诊TAAD；年龄>18岁；入院前未进行TAAD外科干预，并在入院后接受手术，且相关资料完善；术后一年内两次以上主动脉CTA影像学随访。排除标准：合并恶性肿瘤、血液病、慢性肝脏疾病或长期使用口服糖皮质激素的患者等；主动脉壁间血肿及主动脉穿透性溃疡患者；心血管支架等术后有严重伪影者，或图像质量不佳者。

初筛行主动脉CTA扫描的TAAD患者共142人，经过筛选，排除26人(4人患有恶性肿瘤，6人患有慢性肝脏疾病，13人为主动脉壁间血肿或主动脉穿透性溃疡患者，3人图像质量不佳)。最终，本研究共计纳入116例患者，按照7:3的比例随机分为训练组(n=81)和验证组(n=35)。纳入的临床资料包括年龄、性别、术前血压(包括收缩压及舒张压)、是否患有高血压、冠心病、糖尿病、是否有吸烟史，纳入的实验室指标包括白细胞(white blood cell, WBC)、血小板(platelet, PLT)、D-二聚体(D-dimer)、肌酐(creatinine, Cr)、C反应蛋白(c reactive protein, CRP)、脑利钠肽(brain natriuretic peptide, BNP)、丙氨酸氨基转移酶(alanine aminotransferase, ALT)、白蛋白(albumin, ALB)。

本研究纳入的CTA特征包括多个特定层面主动脉的管径以及夹层累及的主动脉分支血管。各个截面主动脉管径的测量采取标准化测量方法^[10]，在特定的解剖标志处进行可重复的主动脉测量，从近端到远端共分为10个截面，分别为主动脉窦、窦管交界处、升主动脉中部、近端主动脉弓(头臂干起始处)、主动脉弓中部(左颈总动脉和锁骨下动脉之间)、近端胸降主动脉(左锁骨下动脉远端约2cm)、中降主动脉(肺动脉水平)、横膈膜处、腹腔干起点处、主动脉分叉前。夹层累及的主动脉分支血管选取是否累及头臂干、左颈总动脉、左锁骨下动脉、腹腔干、肠系膜上动脉、肾动脉、髂动脉。

患者术后主要以门诊方式进行随访，随访内容包括患者相关实验室指标、主动脉CTA检查^[11]。收集所有随访资料，起点为手术结束，终点为1年期满或发生不良事件。将出现不良事件的患者归入AE组，未出现的归入非AE组。AE定义为术后发生包括全因死亡、内漏、远端夹层扩张、主动脉夹层相关二次手术、多脏器功能衰竭、呼吸衰竭、心力衰竭、新发夹层、主动脉破裂、急性肾损伤^[12-14]。

1.2 CTA检查设备与扫描参数 使用256排螺旋CT(Philips Brilliance iCT)，扫描范围为胸腔入口至骨盆底部，患者采取仰卧位，双手举过头顶，扫描方向由头侧向足侧，以5ml/s流速经右侧肘正中静脉团注对比剂碘佛醇(碘浓度：370mg/mL)，具体用量根据身高、体质量及血管情况个体化计算，采用对比剂跟踪技术智能触发扫描。扫描参数：管电压100~140 kV，管电流280~350 mAs，准直128×0.625，螺距1.0，矩阵512×512。

1.3 图像预处理和PVAT分割 感兴趣区(region of interest, ROI)的勾画和影像组学特征的提取使用开源软件3D Slicer(Version 5.6.2)完成。本研究在CTA图像上进行TAAD破口周围脂肪组织ROI的手动勾画。①TAAD破口的定义：破口在CTA图像上为低密度线样内膜片连续性中断处^[15]。TAAD的破口多位于主动脉根部，主动脉弓、胸主动脉、腹主动脉等处还可以存在再破口。本研究的破口选取离主动脉根部最近的破口。②破口周围脂肪组织的勾画：在能够观察到内膜片连续性中断的层面，逐层勾画ROI。ROI选取以主动脉管腔为中心，比主动脉半径大1cm的值为半径形成的圆，将该圆形区域减去其内的主动脉区域得到的环形区域定义为感兴趣区^[5]，使用3D Slicer软件自动提取ROI内-190~-30 HU之间的所有体素，并定义为PVAT^[16]。典型病例的勾画示意图见图1。



图1 基于TAAD术前CTA获得破口周围脂肪组织ROI示意图。男，49岁。图1A为主动脉CTA轴位原始图像，图1B为经过图像预处理和PVAT分割后主动脉CTA轴位的图像，图1C为经过图像预处理和PVAT分割后主动脉CTA矢状位的图像，绿色部分为分割提取的PVAT。(TAAD=type A aortic dissection=A型主动脉夹层，PVAT=perivascular adipose tissue=血管周围脂肪组织，ROI=region of interest=感兴趣区)

1.4 统计分析 采用软件R software(Version 4.4.1)对临床数据进行分析。正态分布和方差齐性分别采用Shapiro-Wilk和Bartlett检验，符合正态分布的计量资料以均数±标准差表示，偏态分布计量资料采用中位数(四分位数间距)表示。满足正态分布和方差齐性的计量资料采用独立样本t检验进行数据比较；否，则采用Mann-Whitney U检验进行数据比较。计数资料以例数(百分比)表示，计数资料采用卡方检验进行数据比较。

应用Pyradiomics软件从PVAT中提取影像组学特征，采用最小绝对收缩和选择算子(least absolute shrinkage and selection operator, LASSO)算法对训练集特征降维^[17]。绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线，计算曲线下面积(area under the curve, AUC)，评估各模型预测效能，并采用DeLong检验比较不同模型效能。P<0.05表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 临床、CTA资料与临床-CTA模型构建 训练集纳入81例，其

中AE组18例，非AE组63例。对于临床特征，在训练集中，下列特征在AE组低于非AE组，包括：舒张压(AE vs非AE: 63.67mmHg vs 76.14mmHg, P=0.013)、PLT(AE vs非AE: $142.02 \times 10^9/L$ vs $175.55 \times 10^9/L$, P=0.040)、ALB(AE vs非AE: 38.82g/L vs 41.21g/L, P=0.023)，见表1；对于CTA特征，下列特征在AE组高于非AE组，包括：主动脉窦水平管径(AE vs非AE: 46.91mm vs 40.62mm, P=0.002)、窦管交界水平管径(AE vs非AE: 48.82mm vs 40.34mm, P=0.001)、累及左颈总动脉(AE vs非AE: 61.1% vs 28.6%, P=0.011)、累及肠系膜上动脉(AE vs非AE: 44.4% vs 14.3%, P=0.006)，见表2。将训练集中有统计学意义的临床及CTA特征进行多因素Logistic回归分析，结果见表3，最后筛选出ALB、窦管交界处主动脉管径、是否累及左颈总动脉三个特征，以之构建临床-CTA模型。

2.2 影像组学特征筛选与模型构建 在训练组中，经提取和降维后得到3个具有统计学意义的PVAT组学特征，分别为exponential_

表1 两组TAAD患者临床资料比较

项目	训练组(n=81)		验证组(n=35)		P	
	AE组(n=18)	非AE组(n=63)	AE组(n=10)	非AE组(n=25)		
性别[n(%)]	女	1(5.6)	16(25.4)	0(0.0)	7(28.0)	0.748
	男	17(94.4)	47(74.6)	10(100.0)	18(72.0)	
高血压[n(%)]	是	8(44.4)	28(44.4)	6(60.0)	10(40.0)	0.627
	否	9(50.0)	24(38.1)	3(30.0)	12(48.0)	
糖尿病[n(%)]	是	5(27.8)	12(19.0)	2(20.0)	4(16.0)	0.599
	否	12(66.7)	40(63.5)	7(70.0)	18(72.0)	
年龄(岁)	55.23±12.21	50.42±12.73	59.62±9.01	49.26±10.90	0.157	
收缩压(mmHg)	122.43±24.67	149.62±24.20	122.67±24.02	136.93±23.26	0.148	
舒张压(mmHg)	63.67±15.72	76.14±18.37	71.41±21.73	69.94±17.13	0.013*	
白细胞计数($\times 10^9/L$)	12.67±3.53	12.86±3.91	13.74±3.48	11.63±2.35	0.895	
血小板计数($\times 10^9/L$)	142.02(113.04, 173.03)	175.55(145.57, 195.52)	142.06(132.07, 161.52)	180.53(130.26, 192.07)	0.040#	
D-二聚体(mg/L)	29.95(7.53, 83.58)	10.13(5.56, 23.48)	12.82(11.30, 30.15)	15.18(5.51, 25.99)	0.135	
肌酐($\mu\text{mol/L}$)	71.23(62.05, 130.01)	74.78(65.96, 88.44)	68.06(58.33, 72.63)	76.92(64.78, 88.80)	0.884	
C反应蛋白(mg/L)	4.52(1.30, 11.31)	2.62(0.53, 10.01)	4.04(2.40, 6.51)	2.22(0.55, 4.40)	0.438	
白蛋白(g/L)	38.82±2.84	41.21±3.52	40.51±3.55	40.00±2.77	0.023*	

表2 两组TAAD患者CTA资料比较

项目	训练组(n=81)		验证组(n=35)		P	
	AE组(n=18)	非AE组(n=63)	AE组(n=10)	非AE组(n=25)		
主动脉窦水平(mm)	46.91±6.54	40.62±7.57	45.03±7.25	39.57±7.20	0.002*	
窦管交界水平(mm)	48.82±6.10	40.34±7.41	46.42±6.26	39.81±6.80	0.001*	
升主动脉中部水平(mm)	45.30±6.35	44.61±7.01	47.34±7.52	43.21±6.87	0.674	
头臂干起始处水平(mm)	40.32(35.10, 42.54)	39.02(37.07, 42.23)	40.82(40.20, 43.41)	37.82(35.80, 40.84)	0.588	
左颈总动脉水平(mm)	35.92(32.14, 37.97)	34.65(32.20, 38.01)	35.82(34.24, 37.48)	33.32(31.91, 36.40)	0.922	
左锁骨下动脉水平(mm)	33.22(30.24, 36.84)	32.32(30.10, 34.71)	33.92(31.71, 36.54)	31.52(29.17, 34.10)	0.526	
降主动脉中段水平(mm)	30.52±3.04	31.00±3.72	32.04±3.20	30.84±4.63	0.623	
横膈膜水平(mm)	28.52(27.27, 29.62)	28.14(26.30, 30.01)	29.12(27.30, 30.41)	28.22(27.04, 29.91)	0.712	
腹腔干起点处水平(mm)	27.72(27.08, 29.27)	27.62(26.14, 29.13)	27.42(26.30, 28.34)	27.62(26.78, 29.30)	0.712	
腹主动脉分叉水平(mm)	23.42±5.61	21.34±4.50	23.32±6.87	22.70±5.21	0.111	
累及头臂干[n(%)]	是	13(72.2)	31(49.2)	6(60.0)	14(56.0)	0.084
	否	5(27.8)	32(50.8)	4(40.0)	11(44.0)	
累及左颈总动脉[n(%)]	是	11(61.1)	18(28.6)	6(60.0)	6(24.0)	0.011#
	否	7(38.9)	45(71.4)	4(40.0)	19(76.0)	
累及左锁骨下动脉[n(%)]	是	12(66.7)	27(42.9)	4(40.0)	12(48.0)	0.075
	否	6(33.3)	36(57.1)	6(60.0)	13(52.0)	
累及腹腔干[n(%)]	是	2(11.1)	13(20.6)	1(10.0)	6(24.0)	0.359
	否	16(88.9)	50(79.4)	9(90.0)	19(76.0)	
累及肠系膜上动脉[n(%)]	是	8(44.4)	9(14.3)	3(30.0)	5(20.0)	0.006#
	否	10(55.6)	54(85.7)	7(70.0)	20(80.0)	
累及肾动脉[n(%)]	是	4(22.2)	5(7.9)	2(20.0)	3(12.0)	0.089
	否	14(77.8)	58(92.1)	8(80.0)	22(88.0)	
累及髂动脉[n(%)]	是	13(72.2)	34(54.0)	6(60.0)	13(52.0)	0.166
	否	5(27.8)	29(46.0)	4(40.0)	12(48.0)	

wavelet-HLL_glcm_ClusterShade。

2.3 联合模型构建 将组间比较后得到的组学、临床及CTA特征纳入多因素Logistic回归得到5个预测因子，以之构建联合模型。

2.4 评估模型效能 通过ROC分析，计算出3种模型的AUC值上述3种模型在训练组、验证组的AUC、敏感性、特异性评价指标见表4，ROC曲线见图2。DeLong检验显示，在训练集，联合模型的预测效能优于临床-CTA模型(AUC=0.939 vs 0.775, P=0.043)，联合模型的预测效能与组学模型之间没有统计学差异(AUC=0.939 vs 0.881, P=0.138)，组学模型的预测效能与临床-CTA模型之间同样没有统计学差异(AUC=0.881 vs 0.775, P=0.258)。在验证集，联合模型的预测效能同样优于临床-CTA模型(AUC=0.901 vs 0.844, P=0.043)。校准曲线显示(图3)，联合模型的校准度较好。DCA分析结果显示(图4)，在训练集以>0.56为阈值时，联合模型的临床净获益较高。

表3 预测TAAD患者术后AE临床资料及影像资料多因素Logistic回归结果

项目	回归系数b值	Wald卡方值	P值	OR值	95%CI
白蛋白(g/L)	-0.49	5.30	0.02	0.61	0.40~0.93
窦管交界水平(mm)	0.33	3.92	0.05	1.39	1.00~1.92
累及左颈总动脉[n(%)]	3.20	5.50	0.02	24.56	1.69~356.42

表4 训练集、验证集中模型的预测性能

数据集	模型	AUC(95% CI)	敏感度	特异度
训练集	影像组学模型	0.88(0.77~0.99)	0.83	0.95
	临床-CTA模型	0.77(0.63~0.92)	0.93	0.54
	联合模型	0.94(0.88~0.99)	0.95	0.75
验证集	影像组学模型	0.86(0.71~0.99)	0.80	0.84
	临床-CTA模型	0.84(0.62~1.00)	1.00	0.67
	联合模型	0.90(0.77~1.00)	0.78	0.89

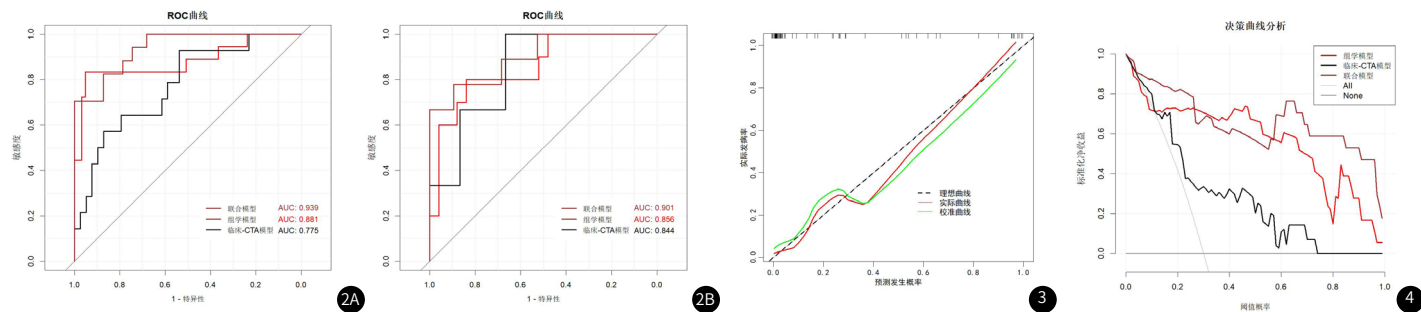


图2 三种模型对TAAD术后AE预测ROC曲线。图2A显示在训练集中，联合模型、组学模型及临床-CTA模型的AUC分别为0.939、0.881、0.775；图2B显示在验证集中，联合模型、组学模型及临床-CTA模型的AUC分别为0.901、0.856、0.844。图3 训练集联合模型对TAAD术后AE预测校准曲线。图4 训练集三种模型对TAAD术后AE预测DCA曲线。以>0.56为阈值时训练集联合模型的临床净收益高于其它模型。

3 讨论

本研究结果表明，ALB、窦管交界水平管径、是否累及左颈总动脉是发生AE的独立预测因素。与临床-CTA模型相比，联合模型显示出了更好的预测性能。

近来，多项研究认为PVAT与心血管疾病不良事件有关。本研究基于TAAD术前CTA主动脉破口PVAT筛选出2个最佳组学特征以建立联合模型，均为小波特征，小波特征可代表ROI的体积可变性、灰度信号的中位数、灰度值与矩阵中对应像素的相关性及小尺寸区域分布的度量等。

至今，心血管医疗技术及其相关研究已较为全面，PVAT与心血管疾病密切相关已基本成为共识。既往研究^[17-21]大多着眼于冠状动脉及颈动脉PVAT与动脉粥样硬化、脑卒中或不顺心血管事件之间的关系，探究PVAT与主动脉夹层之间关系的研究较少；Yusuke Adachi等^[22]研究发现，高峰值主动脉周围脂肪衰减指数是单纯B型主动脉夹层患者不良事件的独立风险因素；Yong-Bo Tu等^[23]研究表明，无论冠状动脉疾病是否存在，TAAD患者的周围脂肪衰减指数均升高。本研究则通过勾画TAAD破口周围PVAT与TAAD术后AE之间关系进行分析。

本研究有以下不足之处，首先，本研究为单中心回顾性研究，需要更多的前瞻性、大规模研究证实；此外，影像组学特征的复杂性对生物学解释提出了挑战，这表明需要研究将相关组学特征与特定的PVAT病理变化联系起来。

综上，基于PVAT影像组学特征联合临床及CTA特征构建的预测模型能有效预测TAAD术后AE高危患者。但本研究为单中心小样本回顾性分析，有待后续开展多中心研究进一步观察。

参考文献

[1] Shi Q, Mu X, Zhang C, et al. Risk factors for postoperative delirium in type a aortic dissection patients: a retrospective study [J]. Med Sci Monit, 2019, 25: 3692-3699.
 [2] McClure RS, Brogly SB, Lajosz K, et al. Epidemiology and management of thoracic aortic dissections and thoracic aortic aneurysms in Ontario, Canada: A population-based study [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2018, 155 (6): 2254-2264.
 [3] Nienaber C A, Eagle K A. Aortic dissection: new frontiers in diagnosis and management: Part I: from etiology to diagnostic strategies [J]. Circulation, 2003, 108 (5): 628-635.
 [4] 欧阳珺. Stanord-A型主动脉夹层患者术后谵妄风险评估量表的编制及信效度检验 [J]. 罕少疾病杂志, 2025, 32 (09): 62-65.
 [5] Antonopoulos A S, Angelopoulos A, Tsioufis K, et al. Cardiovascular risk stratification by coronary computed tomography angiography imaging: Current state-of-the-art [J]. Eur J Prev Cardiol, 2022, 29 (4): 608-624.

[6] Goeller M, Tamarappoo B K, Kwan A C, et al. Relationship between changes in pericoronary adipose tissue attenuation and coronary plaque burden quantified from coronary computed tomography angiography [J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20 (6): 636-643.
 [7] 吴亚平, 林子松, 顾建钦, 等. 影像组学的研究进展与挑战 [J]. 中华放射学杂志, 2017, 51 (12): 983-985.
 [8] 周旻, 王利新, 符伟国. 主动脉夹层术后影像学随访进展及规范 [J]. 外科理论与实践, 2022, 27 (4): 284-287.
 [9] Isselbacher E M, Preventza O, Hamilton Black J, et al. 2022 ACC/AHA guideline for the diagnosis and management of aortic disease: a report of the American Heart Association/American College of Cardiology Joint Committee on Clinical Practice Guidelines [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2023, 166 (5): e182-e331.
 [10] 黄建. 多种方法测量升主动脉直径与心动周期变化的研究 [D]. 南方医科大学, 2019. 108 (9): 816-915.
 [11] 舒畅. TEVAR在非复杂型B型主动脉夹层中的作用——2022年STS/AATS B型主动脉夹层管理临床实践指南解读 [J]. 中国普通外科杂志, 2022, 31 (12): 1557-1563.
 [12] Lombardi J V, Hughes G C, Appoo J J, et al. Society for vascular surgery (SVS) and society of thoracic surgeons (STS) reporting standards for type B aortic dissections [J]. Ann Thorac Surg, 2020, 109 (3): 959-981.
 [13] 高倩, 宋晚霞, 张笑茹, 等. 血管周围脂肪组织参与改善心血管疾病的研究进展 [J]. 中国动脉硬化杂志, 2025, 33 (4): 363-368.
 [14] Antonopoulos A S, Margaritis M, Coutinho P, et al. Adiponectin as a link between type 2 diabetes and vascular NADPH oxidase activity in the human arterial wall: the regulatory role of perivascular adipose tissue [J]. Diabetes, 2015, 64 (6): 2207-2219.
 [15] 中华医学会放射学分会心胸学组. 主动脉夹层CT血管成像标注专家共识 [J]. 中华放射学杂志, 2024, 58 (3): 250-257.
 [16] Choy G, Khalilzadeh O, Michalski M, et al. Current applications and future impact of machine learning in radiology [J]. Radiology, 2018, 288 (2): 318-328.
 [17] 高丹, 李悦, 李莹, 等. 基于血管周围脂肪组织的CTA影像组学列线图预测症状性动脉斑块的价值 [J]. 心电与循环, 2025, 44 (4): 429-434, 439.
 [18] Si N, Shi K, Li N, et al. Identification of patients with acute myocardial infarction based on coronary CT angiography: The value of pericoronary adipose tissue radiomics [J]. Eur Radiol, 2022, 32 (10): 6868-6877.
 [19] 方项, 王涵, 朱雪萌. 心肌灌注显像与CT冠状动脉成像检查对糖尿病并发冠心病患者冠状动脉狭窄的诊断准确度分析 [J]. 罕少疾病杂志, 2025, 32 (06): 83-85.
 [20] 王伟康, 陈炜越, 赵挺, 等. 基于颈动脉周围脂肪组织影像组学预测急性缺血性脑卒中 [J]. 温州医科大学学报, 2025, 55 (8): 652-659.
 [21] 郑蒙雨, 冯毅, 白满莹, 等. 血管周围脂肪组织与动脉粥样硬化的关系及其研究进展 [J]. 心血管康复医学杂志, 2024, 33 (3): 331-334.
 [22] Adachi Y, Ueda K, Otaki Y, et al. Prognostic implications of the periaortic fat attenuation index in uncomplicated type B aortic dissection [J]. Radiol Cardiothorac Imaging, 2025 Oct; 7 (5): e240521.
 [23] Tu YB, Gu M, Zhou SQ, et al. Pericoronary adipose tissue attenuation in patients with acute aortic dissection based on coronary computed tomography angiography [J]. Quant Imaging Med Surg, 2024, 14 (1): 31-42.

(收稿日期: 2025-12-03)
(校对: 韩敏求 排版: 张鸿燊)