

亚甲减患者冠状动脉周围脂肪组织 CTA 研究

徐瑞, 景梦园, 朱浩, 程雯, 徐媛, 周俊林

【摘要】 目的: 基于冠脉 CTA 对比亚甲减患者与非亚甲减患者冠周脂肪衰减指数 (FAI), 探究亚甲减患者可能存在的血管炎症。方法: 回顾性搜集 2022 年 6 月—2023 年 6 月在本院行冠状动脉 CTA 的 479 例稳定性冠心病患者的临床及影像资料。按照血清促甲状腺激素水平将患者分为亚甲减组 ($n=96$) 和非亚甲减组 ($n=383$)。评估每例患者冠状动脉是否存在阻塞性狭窄 (冠状动脉任何节段的狭窄 $\geq 50\%$) 和广泛病变 (冠状动脉树超过三分之一的范围发生动脉粥样硬化), 以及受累节段数 (存在斑块的冠状动脉节段的总和) 和节段狭窄评分 (存在斑块的节段的狭窄分数的总和)。使用数坤平台, 计算左前降支 (LAD)、左回旋支 (LCX) 和右冠状动脉 (RCA) 近端 (LAD 和 LCX 为距开口处 0~40 mm, RCA 为距开口处 10~50 mm) 周围的 FAI 值。结果: 年龄、BMI、以及有高血压、高血糖、吸烟和使用他汀病史者占比在两组间的差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。与非亚甲减组相比, 亚甲减组的女性患者、高血脂、阻塞性狭窄和广泛性病变的占比更高 ($P<0.05$), 受累节段数和节段狭窄评分更高 ($P<0.05$), 三个冠脉分支的冠周 FAI 值也更高 ($P<0.05$)。二元逻辑回归分析结果显示性别 ($OR=2.026, P=0.004$)、高血脂 ($OR=0.553, P=0.021$)、节段狭窄评分 ($OR=1.073, P<0.001$) 及 FAI_{RCA} ($OR=1.050, P<0.001$) 是亚甲减的独立危险因素。结论: 亚甲减患者的 FAI_{RCA} 值显著高于非亚甲减患者, 表明 RCA 周围存在血管炎症的概率较高。

【关键词】 甲状腺功能减退症; 冠状动脉; 脂肪衰减指数; CT 血管成像

【中图分类号】 R814.42; R543.3; R581.2 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2026)04-0410-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2026.04.009

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



A study on the perivascular adipose tissue attenuation of coronary arteries in patients with subclinical hypothyroidism based on coronary CT angiography XU Rui, JING Meng-yuan, ZHU Hao, et al. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Gansu International Scientific and Technological Cooperation Base of Medical Imaging Artificial Intelligence, Lanzhou 730030, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to investigate the possible vascular inflammation in subclinical hypothyroidism patients by comparing the values of pericoronary fat attenuation index (FAI) with that of non-subclinical hypothyroidism patients. **Methods:** Clinical and imaging data of 479 patients with stable coronary artery disease who underwent coronary computed tomography angiography (CCTA) from June 2022 to June 2023 in our hospital were retrospectively collected. Patients were divided into subclinical hypothyroidism ($n=96$) and non-subclinical hypothyroidism ($n=383$) according to serum thyroid-stimulating hormone levels. Each patient was assessed for the presence of obstructive stenosis (presence of $\geq 50\%$ stenosis in any coronary artery segment) and extensive lesions (atherosclerosis affecting $>1/3$ length of the coronary arterial tree) in the coronary arteries, as well as the number of involved segments (total number of coronary artery segments with plaque) and the segmental stenosis score (total stenosis score across segments with plaque). The pericoronary FAI values at proximal segments of left anterior descending (LAD), the left circumflex (LCX) and the right coronary artery (RCA) were measured using a shukun.net platform (for the LAD and LCX, measurements were obtained 0~40mm from the coronary ostium, whereas for the RCA, measurements were obtained 10~50mm from the ostium). **Results:** There was no statistically significant difference in age, BMI, and ratio of hypertension, hyperglycaemia, cigarette-smoking and statin use between the two groups (all $P>0.05$). Subclinical hypothyroidism patients showed a higher proportion of female patients, hyperlipidaemia, obstructive stenosis and extensive lesions ($P<0.05$), higher number of involved segments and segmental stenosis scores ($P<0.05$), and higher FAI values in the three segments ($P<0.05$) when compared with non-subclinical hypothyroidism patients. The results of binary logistic regression analysis revealed that gender ($OR=2.026, P=0.004$), hyperlipidemia ($OR=0.553, P=0.021$), segmental stenosis score ($OR=1.073, P<0.001$), and FAI_{RCA} ($OR=1.050, P<0.001$) were independent risk factors for hypothyroidism. **Conclusion:** Compared with non-subclinical hypothyroidism, subclinical hypothyroidism has higher FAI_{RCA} values, indicating higher occurrence probability of vascular inflammation.

作者单位: 730030 甘肃兰州, 兰州大学第二医院放射科, 医学影像人工智能甘肃省国际科技合作基地

作者简介: 徐瑞 (1983—), 女, 甘肃兰州人, 本科, 副主任医师, 主要从事腹部及心血管影像诊断工作。

通讯作者: 周俊林, E-mail: lzuzjl601@163.com

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (24JRRA355)

【Key words】 Subclinical hypothyroidism; Coronary artery; Fat attenuation index; CT angiography

亚临床甲状腺功能减退症(简称亚甲减)是一种常见的内分泌疾病,在普通成人人群中的患病率约为4%~20%^[1]。亚甲减与心力衰竭和心血管事件的不良预后具有相关性^[2-3]。因为亚甲减时,甲状腺激素水平相对不足及促甲状腺激素升高,会增加全身血管阻力和改变内皮功能,导致血管功能受损,从而增加冠状动脉疾病和全因死亡率的风险^[4]。在亚甲减中,促甲状腺激素水平的升高可通过动脉粥样硬化斑块中的巨噬细胞炎症直接促进动脉粥样硬化的形成^[5]。然而,亚甲减患者冠心病发展或进展的潜在机制尚不清楚。

既往的研究已经证实血管炎症贯穿于冠心病的发病和发展过程中^[6]。作为调节心血管稳态的内分泌器官,冠状动脉周围脂肪组织是血管炎症的重要反应因素^[7]。冠状动脉周围脂肪组织的脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)是一种新型的无创成像标记,可用于检测冠状动脉是否存在炎症,而无需额外的扫描和辐射暴露^[8-9]。有研究表明,FAI值与冠心病、急性冠状动脉综合征和不良心血管事件密切相关^[10-11]。到目前为止,尚无关于亚甲减和非亚甲减患者冠脉周围炎症情况是否存在差异的文献报道。因此,本研究对比分析了亚甲减与非亚甲减患者冠状动脉周围脂肪组织的FAI值,旨在探讨亚甲减患者可能存在的冠脉血管周围炎症。

材料与方法

1. 临床资料

回顾性纳入2022年6月—2023年6月因稳定性心绞痛在本院接受冠状动脉CT血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)和甲状腺功能检测的住院患者。纳入标准:①亚临床甲状腺功能减退症的患者是基于内分泌学会指南中的诊断标准[血清促甲状腺激素水平 $\geq 4.5 \mu\text{IU/mL}$,游离甲状腺素水平在正常范围内(12~22 pmol/L),无典型甲状腺功能减退的临床症状或体征]^[3];②在影像学检查前未接受甲状腺激素或其它内分泌相关药物治疗;③年龄18~80岁;④CCTA图像质量好,可完整清晰地显示三大冠脉分支近端结构。排除标准:①CCTA检查与甲状腺功能检查的时间相隔 > 3 天;②年龄小于18岁和大于80岁;③既往有冠状动脉起源或走行异常、心肌梗死、心肌炎或脉管炎病史;④既往行冠状动脉血管成形术、冠状动脉搭桥术、人工瓣膜置入术或起搏器植入术;⑤CCTA上显示冠脉走行区存在心肌桥;⑥CCTA图像上未发现冠状动脉斑块;⑦临床基线资料缺失。最终共纳入479例符合条件的冠心病患者,其

中亚甲减组96例,非亚甲减患者383例。

本研究严格遵守《赫尔辛基宣言》,获得了本机构伦理委员会的批准(2021A-165)。本研究为回顾性研究,因此无需获得患者的知情同意书。

2. CCTA 图像采集

使用GE Revolution 256排CT扫描仪采集CCTA图像。扫描前,对所有患者进行呼吸训练,并在扫描过程中同步监测心率和血压。CCTA扫描参数:前瞻性心电门控,扫描范围自气管分叉下1.0 cm至心脏底部水平,100 kVp,400~700 mA,视野36 cm \times 36 cm,重建算法为60%-ASIR-V。使用高压双筒注射器经肘静脉注射对比剂碘普罗胺(370 mg I/mL),剂量0.9 mL/kg,注射流率5.0~5.5 mL/s,随后以相同流率注射40 mL生理盐水。

3. CCTA 图像评估

采用半自动方法对CCTA图像进行重建。使用“Coronary Doc”软件(数坤科技有限公司,中国,上海)对冠状动脉进行自动分割。随后,由两位分别具有8和10年心血管诊断经验的放射科医师对分割结果进行人工校正。当出现以下情况时进行调整:①血管边界识别不准确(如管腔或外壁轮廓偏移);②分支血管显示不完整或中断;③受斑块、高密度钙化或运动伪影影响导致分割错误。人工调整的具体操作步骤:逐层检查冠状动脉中心线及血管轮廓,通过手动编辑工具对血管内外壁边界进行修正,必要时重新定义血管路径或补充分支结构,以保证血管走行连续、边界清晰。当冠状动脉管腔及外壁边界与原始图像解剖结构一致、血管连续完整且无明显分割错误时,认为调整完成。随后,由上述两位医师对CCTA图像进行评估,意见存在分歧时经协商达成共识。主要评估内容为冠状动脉是否存在阻塞性狭窄和广泛病变、节段受累评分和节段狭窄评分。阻塞性狭窄(病例数)的定义是冠状动脉任何节段管腔狭窄率 $\geq 50\%$ ^[12]。广泛病变(病例数)的定义是冠状动脉树三分之一以上的范围发生动脉粥样硬化,其中冠状动脉按标准18节段模型进行划分^[13]。受累节段数为存在动脉粥样硬化斑块的冠状动脉节段数量(按18节段模型计数)^[12]。节段狭窄评分为存在斑块的节段的狭窄分数的总和,评分标准如下:管腔狭窄率小于25%计为1分;管腔狭窄率为25%~49%计为2分;管腔狭窄率为50%~69%计为3分;管腔狭窄率为70%~99%计为4分;管腔狭窄率为100%计为5分^[12]。

4. 冠周FAI值的全自动测量

使用全自动EasyFAI软件(数坤科技有限公司)

测量冠周 FAI 值。冠周脂肪组织分割的长度,左前降支(left anterior descending, LAD)和左回旋支(left circumflex, LCX)为开口处至其远端 40 mm 处,在右冠状动脉(right coronary artery, RCA)为距开口处 10 mm 至远端 50 mm 处^[14]。在此长度范围内,软件对冠脉管腔、血管内壁和外壁的边界进行自动识别和分割。随后,根据三维测量方法计算出该区域内 CT 值为 -190~-30 HU 的所有体素的平均 CT 值,即 FAI 值(分别记录为 FAI_{LAD}、FAI_{LCX} 和 FAI_{RCA})。冠周脂肪组织衰减值的测量示意图见图 1。

5. 统计学方法

使用 SPSS 26.0 和 Origin 2020 软件进行统计学分析。分类数据以频率(百分比)表示,并使用 Fisher 精确检验或卡方检验进行组间比较。连续数据根据 Kolmogorov-Smirnov 检验的结果,以均数±标准差或中位数(四分位距)表示,分别采用 Wilcoxon Mann-Whitney *U* 检验或独立样本 *t* 检验进行组间比较。将 $P < 0.05$ 的临床及影像特征纳入逐步向前二元逻辑回归分析,以探究亚甲减的独立危险因素。两位放射科医师对阻塞性狭窄、广泛性病变、受累节段数和节段狭窄评分的评估一致性采用组内相关系数(intraclass correlation coefficient, ICC)或 Kappa 检验进行分析。以 $P < 0.05$ (双侧)为差异有统计学意义。

结果

1. 两位医师评估结果的一致性检验

两位医师测量或评估的 CCTA 参数中,阻塞性狭窄病例数(Kappa = 0.971, $P < 0.001$)、广泛性病变病例数(Kappa = 0.943, $P < 0.001$)、受累节段数(ICC = 0.920, $P < 0.001$)和节段狭窄评分(ICC = 0.914, $P < 0.001$)的观察者间一致性均较好。

2. 亚甲减和非亚减患者临床及影像特征比较

表 1 亚甲减和非亚减患者的临床及影像特征比较

指标	非亚甲减 (n=383)	亚甲减 (n=96)	χ^2/t 值	<i>P</i> 值
年龄/岁	62.00±10.21	63.86±9.85	-1.611	0.108
女性/例	143(37.34%)	49(51.04%)	6.003	0.014
BMI/kg/m ²	25.06±3.29	25.21±3.24	-0.385	0.700
高血脂/例	222(57.96%)	67(69.79%)	4.487	0.034
高血压/例	239(62.40%)	62(64.58%)	0.156	0.692
高血糖/例	171(44.65%)	35(36.46%)	2.100	0.147
吸烟史/例	142(37.08%)	30(31.25%)	1.132	0.287
使用他汀/例	50(13.05%)	10(10.42%)	0.488	0.485
阻塞性狭窄/例	184(48.04%)	58(60.42%)	4.702	0.030
广泛性病变/例	57(14.88%)	26(27.08%)	7.976	0.005
受累节段数	2.95±2.04	3.91±2.86	-3.082	0.003
节段狭窄评分	5.89±4.91	8.98±8.48	-3.423	0.001
FAI _{LAD} /HU	-85.50±8.41	-82.36±9.32	-3.200	0.001
FAI _{LCX} /HU	-81.25±7.96	-78.54±7.89	-2.987	0.003
FAI _{RCA} /HU	-86.41±9.29	-82.25±10.18	-3.848	<0.001

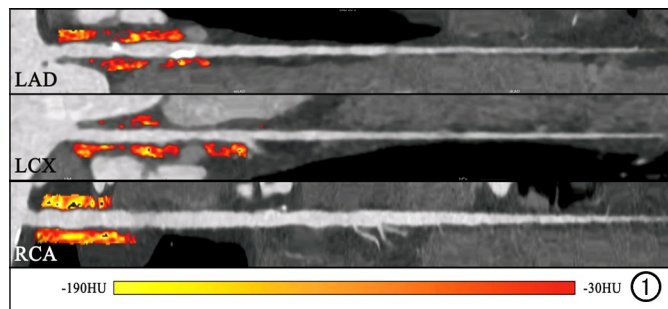


图 1 三个主要冠脉分支冠周脂肪组织衰减值测量示意图。

479 例冠心病患者中,男 287 例,女 192 例;非亚甲减患者 383 例,亚甲减患者 96 例;平均年龄为(62.37±0.46)岁。亚甲减组与非亚甲减组临床及影像特征的比较结果见表 1 和图 2。年龄、BMI、以及高血压、高血糖、吸烟和使用他汀类药物者的占比在亚甲减和非亚减组之间的差异均无统计学意义($P > 0.05$);与非亚甲减组相比,亚甲减组的女性、高血脂者、阻塞性狭窄和广泛性病变的占比更高,节段受累数和节段狭窄评分更高,FAI_{LAD}、FAI_{LCX} 和 FAI_{RCA} 值更高。

3. 亚甲减和非亚减的二元逻辑回归分析

将表 2 中 $P < 0.05$ 的临床及影像学特征纳入逐步向前二元逻辑回归,结果显示性别、高血脂、节段狭窄评分及 FAI_{RCA} 是亚甲减的独立危险因素(P 均 < 0.05),详见表 2。

表 2 亚甲减和非亚减的二元逻辑回归分析

指标	OR(95%CI)	<i>P</i> 值
性别	2.026(1.256~3.269)	0.004
高血脂	0.553(0.334~0.915)	0.021
节段狭窄评分	1.073(1.035~1.113)	<0.001
FAI _{RCA}	1.050(1.024~1.078)	<0.001

注:仅展示逐步向前回归最终模型中保留的变量;OR 为比值比(odd ratio)。

讨论

在亚甲减患者中,促甲状腺激素水平的升高可通过动脉粥样硬化斑块中的巨噬细胞炎症直接促进动脉粥样硬化的形成^[5]。然而,目前亚甲减患者冠心病发展或进展的潜在机制尚不清楚。血管炎症有可能促进了亚甲减患者冠心病的发展,因此本研究中通过对比亚甲减患者与非亚甲减患者冠状动脉周围 FAI 值,旨在探究亚甲减患者可能存在的冠脉血管炎症。

既往研究已经发现促甲状腺激素对血脂水平有显著影响^[15]。然而,促甲状腺激素水平对总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白和高密度脂蛋白的具体作用机制尚存在争议^[16-18]。一项系统性评价发现仅有高密度脂蛋白和甘油三酯水

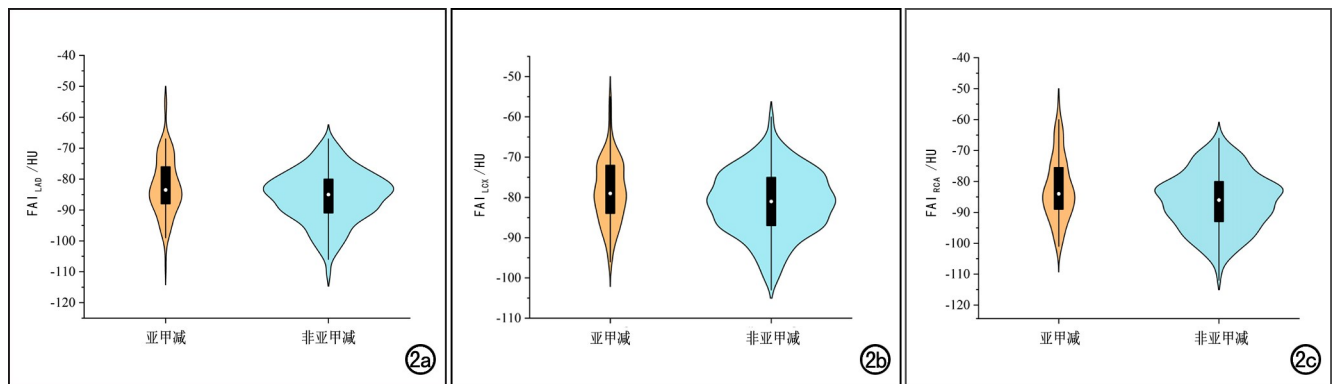


图2 亚甲减和非亚甲减患者的3个冠脉分支FAI值箱式图。a)亚甲减患者的FAI_{LAD}值高于非亚甲减患者;b)亚甲减患者的FAI_{LCX}值高于非亚甲减患者;c)亚甲减患者的FAI_{RCA}值高于非亚甲减患者。

平受亚甲减存在的显著影响^[16]。Fazaeli等^[18]发现与甲状腺功能正常对照组相比,亚甲减患者表现为总胆固醇、甘油三酯和低密度脂蛋白的升高,以及高密度脂蛋白的减低。在本研究中也发现了亚甲减患者高血脂的人群比例较高。这可能是由于,除了甲状腺激素外,促甲状腺激素也对脂质代谢产生影响^[19]。其机制为促甲状腺激素可以诱导脂肪生成,增加3-羟基-3-甲基戊二酰辅酶A的活性,从而增加肝脏中的胆固醇含量^[19]。此外,促甲状腺激素对肝PCSK9表达具有调节作用,这进一步有助于提高低密度脂蛋白胆固醇水平^[20]。

血管炎症是导致冠心病发生和发展的关键因素^[6]。在甲状腺疾病的早期,促甲状腺激素水平的升高除了通过调节甲状腺激素水平影响代谢外,还能直接促进整体炎症,加速动脉粥样硬化^[5]。因此,在亚甲减患者中,与血管炎症相关的潜在机制可能会导致动脉粥样硬化的发展。有研究者通过与正常对照组比较,发现亚甲减患者心外膜脂肪组织体积增大^[21-23]。冠脉周围脂肪组织作为心外膜脂肪组织的一部分,与冠脉直接毗邻,对冠脉的炎症变化更敏感^[24]。其衰减目前被发现是一项能准确评估冠脉炎症的无创性影像标志物^[25-26]。在本研究中,亚甲减患者的FAI_{LAD}、FAI_{LCX}和FAI_{RCA}值明显高于非亚甲减患者,表明通过这个参数可以反映亚甲减患者冠脉血管炎症更显著。

亚甲减可通过促进脂质积累、影响内皮细胞功能和增加血压来促进动脉粥样硬化和心血管风险^[27]。其中,脂质代谢异常是亚甲减促进动脉粥样硬化的关键因素^[19]。在本研究中,亚甲减患者的FAI_{RCA}值显著高于非亚甲减患者。多因素逻辑回归分析显示,FAI_{RCA}是亚甲减状态的独立危险因素,提示该指标值的升高可能反映了独立于冠脉狭窄程度和病变范围的炎症活动情况。这是因为,RCA周围的脂肪组织层较厚,且受心肌运动伪影影响较小,因此RCA的FAI值

对系统性炎症变化更为敏感^[9,14]。综上所述,右冠状动脉周围FAI值可作为辅助性、趋势性的反映局部炎症程度的无创性影像标志物,可提示亚甲减患者冠脉周围炎症和潜在的动脉粥样硬化发生趋势。

此外,近年来研究发现,亚甲减患者常伴有代谢紊乱,包括脂质代谢异常、胰岛素抵抗及蛋白质合成障碍^[28]。这些代谢异常可导致冠脉周围脂肪组织中脂肪细胞体积增大、细胞间基质中糖胺聚糖及蛋白质沉积增加,继而引起局部炎症反应,使得CT图像上表现为局部CT值升高。此外,亚甲减状态下淋巴回流障碍及局部微循环功能减退也可能造成间质水肿,从而进一步使得冠脉周围的FAI值升高。

本研究存在一定的局限性。首先,由于本研究为回顾性设计,未能完全排除冠脉病变程度对FAI的影响,未来我们将进一步开展针对无明显冠状动脉狭窄患者的前瞻性研究,以验证亚甲减与冠周炎症的独立关联性,从而探究其作为亚甲减患者早期血管炎症标志物的价值;其次,由于样本量较小,无法对亚甲减患者进行进一步分层分析;最后,FAI测定存在一定测量误差与个体重叠,因此其结果主要反映群体层面的炎症趋势,未来需结合更多功能性影像及分子标志物以提高准确性。

综上所述,相较于非亚甲减患者,亚甲减冠心病患者的FAI_{RCA}值较高。上述结果表明,亚甲减患者冠状动脉周围的炎症活动增加,这也可能与随后的冠心病进展有关。

参考文献:

- [1] Cooper D, Biondi B. Subclinical thyroid disease[J]. Lancet, 2012, 379(9821):1142-1154.
- [2] Manolis A, Manolis T, Melita H, et al. Subclinical thyroid dysfunction and cardiovascular consequences; an alarming wake-up call [J]. Trends Cardiovas Med, 2020, 30(2):57-69.
- [3] Biondi B, Cappola A, Cooper D. Subclinical Hypothyroidism: a Review[J]. JAMA, 2019, 322(2):153-160.

- [4] Moon S, Kim M, Yu J, et al. Subclinical hypothyroidism and the risk of cardiovascular disease and all-cause mortality: a meta-analysis of prospective cohort studies[J]. *Thyroid*, 2018, 28(9): 1101-1110.
- [5] Yang C, Lu M, Chen W, et al. Thyrotropin aggravates atherosclerosis by promoting macrophage inflammation in plaques[J]. *J Exp Med*, 2019, 216(5): 1182-1198.
- [6] West H, Antoniadou C. Imaging and targeting coronary artery inflammation[J]. *Antioxid Redox Signal*, 2021, 34(15): 1217-1243.
- [7] Omar A, Chatterjee T, Tang Y, et al. Proinflammatory phenotype of perivascular adipocytes [J]. *Arterioscler Thromb Vasc Biol*, 2014, 34(8): 1631-1636.
- [8] Namas W, Saraste A. Perivascular fat attenuation, inflammation, and coronary artery function [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2020, 21(6): 606-607.
- [9] Yu X, Botezatu S, Tzolos E, et al. Pericoronary adipose tissue CT attenuation in coronary artery plaque inflammation [J]. *Heart*, 2023, 109(6): 485-493.
- [10] 廖熙妍, 邹佳妮, 孙茹, 等. CCTA 斑块特征联合冠周脂肪衰减指数与 FFRCT 预测急性冠脉综合征的临床价值[J]. *放射学实践*, 2024, 39(10): 1355-1360.
- [11] 祝婷婷, 管汉雄, 李茜, 等. 冠状动脉周围脂肪衰减指数联合斑块特征预测稳定型心绞痛进展风险[J]. *放射学实践*, 2024, 39(8): 1045-1050.
- [12] Lima T, Assuncao A, Bittencourt M, et al. Coronary computed tomography plaque-based scores predict long-term cardiovascular events[J]. *Eur Radiol*, 2023, 33(8): 5436-5445.
- [13] Andreas F, Jørgen T, Kühlper E, et al. Subclinical coronary atherosclerosis and risk for myocardial infarction in a Danish cohort: a prospective observational cohort study [J]. *Ann Intern Med*, 2023, 176(4): 433-442.
- [14] Oikonomou E, Marwan M, Desai M, et al. Non-invasive detection of coronary inflammation using computed tomography and prediction of residual cardiovascular risk (the CRISP CT study): a post-hoc analysis of prospective outcome data [J]. *Lancet*, 2018, 392(10151): 929-939.
- [15] Duntas L, Wartofsky L. Cardiovascular risk and subclinical hypothyroidism: focus on lipids and new emerging risk factors. What is the evidence [J]. *Thyroid*, 2007, 17(11): 1075-1084.
- [16] Pergialiotis V, Konstantopoulos P, Prodromidou A, et al. Management of Endocrine Disease: the impact of subclinical hypothyroidism on anthropometric characteristics, lipid, glucose and hormonal profile of PCOS patients; a systematic review and meta-analysis [J]. *Eur J Endocrinol*, 2017, 176(3): 159-166.
- [17] Pearce E. Update in lipid alterations in subclinical hypothyroidism [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2012, 97(2): 326-333.
- [18] Fazaeli M, Khoshdel A, Shafiepour M, et al. The influence of subclinical hypothyroidism on serum lipid profile, PCSK9 levels and CD36 expression on monocytes [J]. *Diabetes Metab Syndr*, 2019, 13(1): 312-316.
- [19] Delitala A, Fanciulli G, Maioli M, et al. Subclinical hypothyroidism, lipid metabolism and cardiovascular disease [J/OL]. *Eur J Intern Med*, 2017, 38: e17-e24 [2016-12-28]. DOI: 10.1016/j.ejim.2016.12.015.
- [20] Gong Y, Ma Y, Ye Z, et al. Thyroid stimulating hormone exhibits the impact on LDLR/LDL-c via up-regulating hepatic PCSK9 expression [J]. *Metabolism: clinical and experimental*, 2017, 76: 32-41.
- [21] Farghaly H, Metwalley K, Raafat D, et al. Epicardial fat thickness in children with subclinical hypothyroidism and its relationship to subclinical atherosclerosis: a pilot study [J]. *Horm Res Paediatr*, 2019, 92(2): 99-105.
- [22] Belen E, Defüirmenciofölu A, Zencirci E, et al. The association between subclinical hypothyroidism and epicardial adipose tissue thickness [J]. *Korean Circ J*, 2015, 45(3): 210-215.
- [23] Closs C, Vargas-Uricoechea H, Schwarzstein D, et al. Relationship of subclinical hypothyroidism on epicardial adipose tissue: a systematic review and meta-analysis [J/OL]. *Curr Probl Cardiol*, 2023, 48(7): e101674 [2023-2-24]. DOI: 10.1016/j.cpcardiol.2023.101674.
- [24] Antoniadou C, Shirodaria C. Detecting coronary inflammation with perivascular fat attenuation imaging: making sense from perivascular attenuation maps [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2019, 12(10): 2011-2014.
- [25] Sun J, Sheng X, Feng Q, et al. Pericoronary fat attenuation index is associated with vulnerable plaque components and local immune-inflammatory activation in patients with non-ST elevation acute coronary syndrome [J/OL]. *J Am Heart Assoc*, 2022, 11(2): e022879 [2022-1-13]. DOI: 10.1161/JAHA.121.022879.
- [26] Pontone G, Rossi A, Guglielmo M, et al. Clinical applications of cardiac computed tomography: a consensus paper of the European Association of Cardiovascular Imaging-part II [J]. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 2022, 23(4): 136-161.
- [27] Paschou S, Bletsas E, Stampouloglou P, et al. Thyroid disorders and cardiovascular manifestations: an update [J]. *Endocrine*, 2022, 75(3): 672-683.
- [28] Delitala AP, Fanciulli G, Maioli M, et al. Subclinical hypothyroidism, lipid metabolism and cardiovascular disease [J]. *Eur J Intern Med*, 2017, 38(1): 17-24.

(收稿日期: 2025-09-09 修回日期: 2025-11-25)