

非门控胸部CT冠状动脉钙化积分的应用和发展现状

陈 曦, 陈林丽*

重庆医科大学附属第二医院放射科, 重庆

收稿日期: 2025年12月15日; 录用日期: 2026年1月8日; 发布日期: 2026年1月21日

摘 要

冠状动脉钙化积分(Coronary Artery Calcium Score, CACS)是定量衡量冠状动脉钙化(Coronary Artery Calcium, CAC)的指标, 不仅与冠状动脉狭窄的严重程度有关, 而且在心血管疾病的风险分层以及治疗中发挥着重要作用。人工智能(Artificial Intelligence, AI)的出现, 让非门控CACS成为评估CAC的一种无创、简单且可靠的方式。本文基于近年国内外相关研究, 系统梳理了非门控胸部CT CACS的评估方法、临床应用场景以及发展现状, 深入分析了当前应用中存在的问题, 提出了未来的优化方向, 希望为该技术的临床应用与实践改进提供一些帮助。

关键词

非门控胸部CT, 冠状动脉钙化积分, 冠状动脉疾病, 风险分层, 人工智能辅助诊断

Application and Current Development of Non-Gated Chest CT Coronary Calcification Score

Xi Chen, Linli Chen*

Department of Radiology, The Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: December 15, 2025; accepted: January 8, 2026; published: January 21, 2026

Abstract

Coronary Artery Calcium Score (CACS) is a quantitative indicator for evaluating coronary artery

*通讯作者。

文章引用: 陈曦, 陈林丽. 非门控胸部 CT 冠状动脉钙化积分的应用和发展现状[J]. 临床医学进展, 2026, 16(1): 1886-1892. DOI: 10.12677/acm.2026.161238

calcium (CAC), which is not only associated with the severity of coronary artery stenosis but also plays a pivotal role in risk stratification and preventive treatment of cardiovascular diseases. The advent of Artificial Intelligence (AI) has rendered non-gated CACS a non-invasive, simple, and reliable approach for CAC assessment. Based on relevant domestic and international studies published in recent years, this review systematically collates the assessment methods, clinical application scenarios, and current development status of non-gated chest CT-based CACS, thoroughly analyzes the existing challenges in its current application, and proposes future optimization directions. It is intended to provide valuable insights for the clinical application and practical advancement of this technology.

Keywords

Non-Gated Chest CT, Coronary Artery Calcium Score (CACS), Coronary Artery Disease, Risk Stratification, Artificial Intelligence-Assisted Diagnosis

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

冠状动脉疾病(Coronary Artery Disease, CAD)是目前对全世界人民健康威胁最大的疾病之一[1] [2]。日益沉重的冠状动脉疾病负担,使得早发现、早干预该疾病的需求愈发迫切。作为量化冠脉钙化的指标——冠状动脉钙化积分(Coronary Artery Calcium Score, CACS),不仅可以评估 CAD 病变的严重程度,还能心血管不良事件的发生提供独立预测价值并指导临床治疗[3]。

非门控胸部 CT 能够实现对肺部病灶和冠状动脉钙化的同步评估,且因其克服了心电门控 CACS 需要注射造影剂和依赖心电门控设备的限制而降低了应用门槛。人工智能(Artificial Intelligence, AI)的出现,让非门控 CACS 成为评估 CAC 的一种无创、简单且可靠的方式。

2. 非门控胸部 CT CACS 的评估与报告

2.1. 定量评估与分级

CACS 的定量测量方法有 3 种,包括 Agatston 积分、体积积分和质量积分。Agatston 积分根据钙化斑块的 CT 值进行赋分(130~199 HU 为 1 分,200~299 HU 为 2 分,300~399 HU 为 3 分,400 HU 以上为 4 分),将上述赋分结果乘以钙化斑块的面积(单位: mm²)得到该钙化斑块的评分,再将所有钙化斑块的评分求和,即得到 Agatston 总积分[5]。体积积分仅通过斑块面积和层厚来计算钙化斑块的体积[6]。质量积分是根据钙化斑块体积、密度和校准因子计算羟基磷灰石钙的真实质量[7]。Agatston 法是目前心电门控 CAC 以及非心电门控 CT CAC 定量评估中最常用的方法。

CACS 的分级方法有两种,包括绝对评分分级和百分比分级。绝对评分分级是把 CACS 值分为 0、1~100、101~400、>400,分别定义为无钙化、轻度钙化、中度钙化和重度钙化[8],对于重度钙化也有指南采用>300 作为阈值[9],并有研究将 CACS ≥ 1000 称为极重度钙化[10]。百分比评分分级法是基于多种族动脉粥样硬化研究(multi-ethnic study of atherosclerosis, MESA)数据库的百分比评分分级[11],通过 MESA 风险评分计算模型计算出个体的 CACS 在同年龄、同性别、同种族人群中的相对百分位数[12],将结果分别为 0、≤75%、76%~90%、>90%,分别定义为无钙化、轻度钙化、中度钙化和重度钙化。无钙

化、轻度钙化、中度钙化、重度钙化分别提示 CAD 事件的风险非常低、低、中、中高。

2.2. 其他评估方法

CAC 的其他评估方法主要包括序数评估和视觉评估方法。序数评估是先将左主干、左前降支、左回旋支和右冠状动脉中钙化严重程度依次评估: 无、轻度、中度或重度, 记为 0、1、2 或 3 分, 对应无钙化、评估血管长度中不到 1/3 存在钙化、1/3~2/3 存在钙化、超过 2/3 的存在钙化, 然后把四支血管的评分相加得到评分为在 0~12 分之间的总和, 其中 0 分为无心血管风险, 1~3 分心血管风险为低危, 4~6 分为中危, 7~9 分为中高危, 10~12 分为高危[13]。另一种方法是视觉评分法, 它指的是放射科医生直接对冠状动脉的总体钙化程度做视觉评估并依据严重程度分为: 无、轻度、中度和重度[14]。

2.3. 标准化报告体系

为规范报告内容, 美国心血管 CT 学会(SCCT)于 2018 年提出了冠状动脉钙化数据和报告系统(CAC-DRS), 结合 Agatston 评分等级(A0~A3)与受累血管数量(N0~N4)进行双重评估[9]。中国相关专家共识建议[15], 常规胸部 CT 可采用“无、轻度、中度、重度”进行描述性报告; 而具备定量条件的非门控或心电图门控检查, 应报告 Agatston 总积分及各分支积分, 并依据 CACS 数值(0, 1~99, 100~299, 300~999, ≥ 1000)明确提示钙化严重程度。

3. 人工智能辅助的非门控 CACS

在接受常规的非门控胸部 CT 检查的患者数量不断增加的现状下, AI 辅助的非门控 CACS 的检测与报告是无症状患者心血管风险评估的简单、安全又高效的方法, 扩大了早期心血管风险评估的覆盖范围。

目前用于冠状动脉钙化检测的 AI 模型主要采用卷积神经网络(CNNs)和基于 U-Net 的框架。卷积神经网络能够精准识别图像的钙化[16] [17], U-Net 能够做到对识别到的钙化进行定位和分割[18], 二者结合使用初步做到了发现钙化、定位钙化。随着 AI 的发展, 一些新兴技术与方法的出现提升了 CACS 检测的准确性。例如, 卷积神经网络(CNNs)和基于 U-Net 联合双人工智能框架(其中一个模型检测钙化, 另一个模型验证解剖位置), 避免了扫描范围内其他区域的钙化误判为 CAC, 进一步提升了检测的准确度[19]。

非门控 CACS 检测的 AI 模型不仅与人工非门控 CACS 评分分层的结果具有高度一致性, 在以配对门控冠状动脉的 CAC 评分为标准的模型中也展示出良好的一致性[19]。此外, 研究表明, 非门控胸部 CT CACS 和门控 CACS 的差距是可以调整通过调整扫描参数(如层厚)缩小的[20]。Christensen JL 等人将 1.25 mm、2.5 mm、5.0 mm 三种层厚的非门控 CACS 与心电图门控 CACS 对比, 发现 1.25 mm 层厚表现最佳, 它与 CCT 的 CACS 呈强相关性($R = 0.9770$), 分类一致性达 84% (Cohen's Kappa = 0.883) [21]。多个经过验证的 AI 评估非门控 CACS 模型已经被开发并应用到临床中, 它们快速、准确地量化 CAC, 大幅提升了临床评估的效率, 为大规模人群心血管疾病风险筛查提供了技术支持。

4. 非门控胸部 CT CACS 的临床应用

4.1. 心血管风险分层与预后评估

目前, 比较成熟的 ASCVD 风险评估模型包括: 汇总队列方程(Pooled Cohort Equations, PCE)、中国动脉粥样硬化性心血管疾病风险预测模型(China-PAR)、弗洛明翰风险评分(Framingham Risk Score, FRS)及欧洲系统性冠状动脉风险评估(SCORE)算法等, 各个模型纳入的风险因素略有不同, 但是大多都包含: 年龄、性别; 吸烟状态; 收缩压、总胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇、糖尿病史、高血压史等这些传统风险[22] [23]。Khan 等人在涵盖美国多民族动脉粥样硬化研究(MESA)和荷兰鹿特丹研究(Rotterdam Study, RS)

的双队列研究中证实, 将冠状动脉钙化评分(CACS)纳入传统汇集队列方程(PCE)后, 其对冠心病(Coronary Heart Disease, CHD)的预测效能显著提升[24]。

多项随访研究证实, CACS 是预测心肌梗死、全因死亡等不良心血管事件的独立危险因素。CACS = 0 的个体 10 年 CHD 风险仅约 3%, 并且随着 CACS 增加, CHD 事件风险递增越显著[25]。即使在已接受血运重建治疗(如经皮冠状动脉介入治疗、冠状动脉旁路移植术)的冠心病患者中, CACS 仍能有效预测疾病复发风险[26]。

4.2. 冠心病筛查

国内外指南均建议对于 40~75 岁、无临床动脉粥样硬化性心血管疾病(ASCVD)、10 年动脉粥样硬化性心血管疾病(ASCVD)风险为 5%~20%的无症状个体, 进行冠状动脉钙化(CAC)检测, 对于 10 年动脉粥样硬化性心血管疾病(ASCVD)风险<5%的特定人群(如有早发冠心病家族史的个体), 也可选择性进行冠状动脉钙化(CAC)检查[4] [27]。利用非门控胸部 CT CACS 对冠心病进行机会性筛查具有显著的成本效益优势, 以肺癌筛查人群为例, 他们多合并冠心病高危风险, 可以通过肺癌筛查时的胸部 CT, 同步完成肺癌与 CVD 风险评估, 节约医疗成本的同时提升了医疗资源利用率[28]。此外, 即使是那些已出现胸痛症状的疑似 CAD 患者也能从 CACS 中获益, Roos A. Groen 等人的研究表明, 通过非门控胸部 CT 进行的无创 CAC 评估, 可准确排除梗阻性 CAD, 从而避免不必要的有创检查, 辅助筛选出真正需要进一步检查的患者, 为临床诊疗决策提供可靠依据[29]。

4.3. 指导他汀类药物治疗决策

4.3.1. 启动他汀类药物治疗

不同国际指南对 CACS 提示启动他汀类药物使用的核心共识一致: CACS > 100 分是启动他汀类药物治疗的提示点[16] [30] [31]。更积极的干预认为, CACS 1~99 分的个体若合并高危因素(如高血压 + 糖尿病 + 吸烟、冠心病家族史), 也可以考虑启动他汀治疗[32]。值得注意的是, 无论初始 CACS 如何, 若 1~2 年内 CACS 增幅 > 50%, 即使未达 100 分, 也应考虑启动他汀治疗[32]。

4.3.2. 他汀类的使用剂量

因为不同的 CACS 值对应的心血管疾病风险不同, 所以他汀类药物的使用剂量也有差别, 根据 2018 年版的国际心血管 CT 协会冠状动脉钙化报告系统(CAC-RADS)。CAC-RADS 0~3 级分别对应的干预药物是: 无需他汀类药(家族性高胆固醇血症患者除外)、中等强度他汀类药物(如阿托伐他汀 10~20 mg/日、瑞舒伐他汀 5~10 mg/日)、中高强度他汀类药物(如阿托伐他汀 20~40 mg/日、瑞舒伐他汀 10~20 mg/日)+ 阿司匹林 81 mg 联合治疗、高强度他汀类药物(如阿托伐他汀 40~80 mg/日、瑞舒伐他汀 20 mg/日)+ 阿司匹林 81 mg 联合治疗[9]。

4.3.3. 治疗效果监测

CACS 的动态变化可直接反映他汀类药物治疗及生活方式干预的有效性, 为治疗方案优化提供客观量化依据。我国相关指南推荐的 CACS 复查频率为: CACS 为 0 且改变预防性管理策略的患者, 每隔 5 年复查 CACS; CACS 存在进展或 CACS > 0 且改变预防性管理策略的患者每隔 3~5 年重复 CACS 扫描[15]。

定期复查中, 若 CACS 增长缓慢或稳定, 提示动脉粥样硬化进展得到有效控制, 现有治疗方案可持续; 若评分快速升高(变化率 > 15%), 则提示干预强度不足, 需及时调整他汀类药物剂量或联合干预策略, 进一步强化风险控制[15] [33]。

5. 现存挑战

在目前的临床实践中, 非门控胸部 CT CACS 的应用仍较为局限, 造成这一结果的主要原因有: 一、非门控胸部 CT 的检查中的冠状动脉钙化常因“非主要检查目标”而被放射科医生忽略, 非门控 CACS 规范报告率较低; 部分临床医生与对非门控 CACS 的临床意义认识不足, 这使得大量潜在的心血管风险信息流失, 错失了早期干预的时机[33]。二、从技术维度分析, 目前很多基层医院还没有相关设备支持 AI 辅助检查非门控 CACS, 即使具备 AI 辅助检查非门控 CACS 的不同医疗机构所采用的扫描参数及 AI 采用算法也存在差异, 可能导致 CACS 结果不一致, 减低了非门控 CACS 的可重复性。三、尽管选择 1.25 mm 的最优层厚、将患者心率控制在 70 次/分以下等方式能有效缩小非门控 CACS 与门控 CACS 的量化差异[20], 但在实际临床应用中, 尤其针对无症状人群的机会性筛查时, 放射技师往往遵循常规扫描流程, 较少为优化冠状动脉钙化测量而调整扫描参数以及控制患者心率, 这在一定程度上影响了非门控 CACS 的准确性。

6. 未来发展方向

结合当前发展趋势, 未来可从以下方向改进: 一、着力研发更具通用性的 AI 算法, 并将 AI 辅助的非门控 CACS 与临床风险因素(如年龄、血压、血脂等)相结合, 构建能够整合冠状动脉钙化、斑块特征(如钙化密度、钙化体积等)以及临床数据的综合风险预测模型[34], 进一步提升风险评估的精准程度, 为个体化干预提供更为全面的依据; 二、大力推广非门控 CACS 标准化报告, 建立非门控胸部 CT 冠状动脉钙化评分的全国性扫描与报告标准, 同时加强对放射科医师、临床医师的专业培训, 使他们能够更熟练地掌握冠状动脉钙化评估和报告的规范与临床意义, 提高非门控冠状动脉钙化评分的规范化报告率和临床应用率。

参考文献

- [1] Global Burden of Cardiovascular Diseases and Risks 2023 Collaborators (2025) Global, Regional, and National Burden of Cardiovascular Diseases and Risk Factors in 204 Countries and Territories, 1990-2023. *Journal of the American College of Cardiology*, **86**, 2167-2243.
- [2] 国家心血管病中心, 中国心血管健康与疾病报告编写组, 胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告 2023 概要[J]. 中国循环杂志, 2024, 39(7): 625-660.
- [3] Onnis, C., Virmani, R., Kawai, K., Nardi, V., Lerman, A., Cademartiri, F., *et al.* (2024) Coronary Artery Calcification: Current Concepts and Clinical Implications. *Circulation*, **149**, 251-266. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.123.065657>
- [4] Hecht, H., Blaha, M.J., Berman, D.S., Nasir, K., Budoff, M., Leipsic, J., *et al.* (2017) Clinical Indications for Coronary Artery Calcium Scoring in Asymptomatic Patients: Expert Consensus Statement from the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, **11**, 157-168. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2017.02.010>
- [5] Agatston, A.S., Janowitz, W.R., Hildner, F.J., Zusmer, N.R., Viamonte, M. and Detrano, R. (1990) Quantification of Coronary Artery Calcium Using Ultrafast Computed Tomography. *Journal of the American College of Cardiology*, **15**, 827-832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
- [6] Callister, T.Q., Cooil, B., Raya, S.P., Lippolis, N.J., Russo, D.J. and Raggi, P. (1998) Coronary Artery Disease: Improved Reproducibility of Calcium Scoring with an Electron-Beam CT Volumetric Method. *Radiology*, **208**, 807-814. <https://doi.org/10.1148/radiology.208.3.9722864>
- [7] McCollough, C.H., Ulzheimer, S., Halliburton, S.S., Shanneik, K., White, R.D. and Kalender, W.A. (2007) Coronary Artery Calcium: A Multi-Institutional, Multimanufacturer International Standard for Quantification at Cardiac CT. *Radiology*, **243**, 527-538. <https://doi.org/10.1148/radiol.2432050808>
- [8] 中国医师协会放射医师分会. 冠状动脉 CT 血管成像斑块分析和应用中国专家建议[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(10): 890-900.
- [9] Hecht, H.S., Blaha, M.J., Kazerooni, E.A., Cury, R.C., Budoff, M., Leipsic, J., *et al.* (2018) CAC-DRS: Coronary Artery

- Calcium Data and Reporting System. An Expert Consensus Document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography (SCCT). *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, **12**, 185-191. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.03.008>
- [10] Greenland, P., Blaha, M.J., Budoff, M.J., Erbel, R. and Watson, K.E. (2018) Coronary Calcium Score and Cardiovascular Risk. *Journal of the American College of Cardiology*, **72**, 434-447. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.05.027>
 - [11] Bild, D.E., Bluemke, D.A., Burke, G.L., Detrano, R., Diez Roux, A.V., Folsom, A.R., *et al.* (2002) Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis: Objectives and Design. *American Journal of Epidemiology*, **156**, 871-881. <https://doi.org/10.1093/aje/kwf113>
 - [12] Blaha, M.J., Naazie, I.N., Cainzos-Achirica, M., Dardari, Z.A., DeFilippis, A.P., McClelland, R.L., *et al.* (2021) Derivation of a Coronary Age Calculator Using Traditional Risk Factors and Coronary Artery Calcium: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Journal of the American Heart Association*, **10**, e019351. <https://doi.org/10.1161/jaha.120.019351>
 - [13] Shemesh, J., Henschke, C.I., Shaham, D., Yip, R., Farooqi, A.O., Cham, M.D., *et al.* (2010) Ordinal Scoring of Coronary Artery Calcifications on Low-Dose CT Scans of the Chest Is Predictive of Death from Cardiovascular Disease. *Radiology*, **257**, 541-548. <https://doi.org/10.1148/radiol.10100383>
 - [14] Chiles, C., Duan, F., Gladish, G.W., Ravenel, J.G., Baginski, S.G., Snyder, B.S., *et al.* (2015) Association of Coronary Artery Calcification and Mortality in the National Lung Screening Trial: A Comparison of Three Scoring Methods. *Radiology*, **276**, 82-90. <https://doi.org/10.1148/radiol.15142062>
 - [15] 中国医师协会放射医师分会, 卢光明, 吕滨, 金征宇, 张龙江, 李小虎, 龚良庚, 胡春洪, 侯阳, 肖喜刚, 王锡明, 刘通源. 冠心病 CT 检查和诊断中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2024, 58(2): 135-149.
 - [16] Khanam, R., Hussain, M., Hill, R. and Allen, P. (2024) A Comprehensive Review of Convolutional Neural Networks for Defect Detection in Industrial Applications. *IEEE Access*, **12**, 94250-94295. <https://doi.org/10.1109/access.2024.3425166>
 - [17] Gogin, N., Viti, M., Nicodème, L., Ohana, M., Talbot, H., Gencer, U., *et al.* (2021) Automatic Coronary Artery Calcium Scoring from Unenhanced-ECG-Gated CT Using Deep Learning. *Diagnostic and Interventional Imaging*, **102**, 683-690. <https://doi.org/10.1016/j.diii.2021.05.004>
 - [18] Siddique, N., Paheding, S., Elkin, C.P. and Devabhaktuni, V. (2021) U-Net and Its Variants for Medical Image Segmentation: A Review of Theory and Applications. *IEEE Access*, **9**, 82031-82057. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3086020>
 - [19] Eng, D., Chute, C., Khandwala, N., Rajpurkar, P., Long, J., Shleifer, S., *et al.* (2021) Automated Coronary Calcium Scoring Using Deep Learning with Multicenter External Validation. *npj Digital Medicine*, **4**, Article No. 88. <https://doi.org/10.1038/s41746-021-00460-1>
 - [20] Parsa, S., Saleh, A., Raygor, V., Hoeting, N., Rao, A., Navar, A.M., *et al.* (2024) Measurement and Application of Incidentally Detected Coronary Calcium: JACC Review Topic of the Week. *Journal of the American College of Cardiology*, **83**, 1557-1567. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2024.01.039>
 - [21] Christensen, J.L., Sharma, E., Gorvitovskaia, A.Y., Watts, J.P., Assali, M., Neverson, J., *et al.* (2019) Impact of Slice Thickness on the Predictive Value of Lung Cancer Screening Computed Tomography in the Evaluation of Coronary Artery Calcification. *Journal of the American Heart Association*, **8**, e010110. <https://doi.org/10.1161/jaha.118.010110>
 - [22] Wong, N.D., Budoff, M.J., Ferdinand, K., Graham, I.M., Michos, E.D., Reddy, T., *et al.* (2022) Atherosclerotic Cardiovascular Disease Risk Assessment: An American Society for Preventive Cardiology Clinical Practice Statement. *American Journal of Preventive Cardiology*, **10**, Article ID: 100335. <https://doi.org/10.1016/j.ajpc.2022.100335>
 - [23] Graham, I.M., Di Angelantonio, E., Visseren, F., De Bacquer, D., Ference, B.A., Timmis, A., *et al.* (2021) Systematic Coronary Risk Evaluation (SCORE): JACC Focus Seminar 4/8. *Journal of the American College of Cardiology*, **77**, 3046-3057. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.04.052>
 - [24] Khan, S.S., Post, W.S., Guo, X., Tan, J., Zhu, F., Bos, D., *et al.* (2023) Coronary Artery Calcium Score and Polygenic Risk Score for the Prediction of Coronary Heart Disease Events. *JAMA*, **329**, 1768-1777. <https://doi.org/10.1001/jama.2023.7575>
 - [25] Budoff, M.J., Young, R., Burke, G., Jeffrey Carr, J., Detrano, R.C., Folsom, A.R., *et al.* (2018) Ten-Year Association of Coronary Artery Calcium with Atherosclerotic Cardiovascular Disease (ASCVD) Events: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (Mesa). *European Heart Journal*, **39**, 2401-2408. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy217>
 - [26] Fujimoto, S., Kondo, T., Kumamaru, K.K., Shinozaki, T., Takamura, K., Kawaguchi, Y., *et al.* (2015) Prognostic Value of Coronary Computed Tomography (CT) Angiography and Coronary Artery Calcium Score Performed before Revascularization. *Journal of the American Heart Association*, **4**, e002264. <https://doi.org/10.1161/jaha.115.002264>
 - [27] 中国心血管病风险评估和管理指南编写联合委员会, 顾东风. 中国心血管病风险评估和管理指南[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(1): 4-28.

-
- [28] Garg, P.K., Jorgensen, N.W., McClelland, R.L., Leigh, J.A., Greenland, P., Blaha, M.J., *et al.* (2018) Use of Coronary Artery Calcium Testing to Improve Coronary Heart Disease Risk Assessment in a Lung Cancer Screening Population: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, **12**, 493-499. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.10.001>
- [29] Groen, R.A., van Dijkman, P.R.M., Jukema, J.W., Bax, J.J., Lamb, H.J. and de Graaf, M.A. (2024) Coronary Calcifications as Assessed on Routine Non-Gated Chest CT; a Gatekeeper to Tailor Downstream Additional Imaging in Patients with Stable Chest Pain. *IJC Heart & Vasculture*, **52**, Article ID: 101418. <https://doi.org/10.1016/j.ijcha.2024.101418>
- [30] Grundy, S.M., Stone, N.J., Bailey, A.L., Beam, C., Birtcher, K.K., Blumenthal, R.S., *et al.* (2019) 2018 AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA Guideline on the Management of Blood Cholesterol: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, **139**, e1082-e1143.
- [31] Mach, F., Koskinas, K.C., Roeters van Lennep, J.E., Tokgözoğlu, L., Badimon, L., Baigent, C., *et al.* (2025) 2025 Focused Update of the 2019 ESC/EAS Guidelines for the Management of Dyslipidaemias. *Atherosclerosis*, **409**, Article ID: 120479. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2025.120479>
- [32] Orringer, C.E., Blaha, M.J., Blankstein, R., Budoff, M.J., Goldberg, R.B., Gill, E.A., *et al.* (2021) The National Lipid Association Scientific Statement on Coronary Artery Calcium Scoring to Guide Preventive Strategies for ASCVD Risk Reduction. *Journal of Clinical Lipidology*, **15**, 33-60. <https://doi.org/10.1016/j.jacl.2020.12.005>
- [33] Osborne-Grinter, M., Ali, A. and Williams, M.C. (2023) Prevalence and Clinical Implications of Coronary Artery Calcium Scoring on Non-Gated Thoracic Computed Tomography: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Radiology*, **34**, 4459-4474. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10439-z>
- [34] Gómez-Díaz, D., Díez-Villanueva, P., López-Melgar, B., Flores, L., De Toffol, G., Ramos, A., *et al.* (2025) Role of Coronary Artery Calcium Score CT in Risk Stratification of Asymptomatic Individuals. *Journal of Cardiovascular Development and Disease*, **12**, Article 442. <https://doi.org/10.3390/jcdd12110442>