Canon RSNA 2025 Imaging the Individual 专栏

胸部CT平扫自动测量冠状动脉钙化积分的可行性研究

周涛　刘长斌　王秀　孙楠楠　张敏　马壮飞　李莹

【摘要】 **目的**　探讨自动测量冠状动脉钙化积分在胸部平扫CT中的可行性。 **方法**　回顾性纳入2024年11月—2025年10月在我院接受过冠状动脉钙化积分扫描及胸部CT平扫检查的受检者。所有患者均采用320排宽体探测器CT行冠状动脉钙化积分扫描(A组)和胸部CT平扫(B组)。对比A组和B组的客观和主观图像质量。客观图像质量采用测量主动脉根部、左心室腔及胸壁皮下脂肪的CT值及图像噪声,并计算信噪比(SNR)。主观图像质量采用4分法评价冠状动脉钙化的显示清晰度、心脏边缘的锐利程度。A组图像分别使用手动(A1组)和自动(A2组)钙化积分软件行钙化积分测定,B组图像采用自动钙化积分软件进行钙化积分测定。所有的钙化积分测量指标包括:钙化体积、Agaston积分和质量分数。 **结果**　共纳入80例患者。B组在主动脉根部、左心室腔及胸壁皮下脂肪处的图像噪声均显著低于A组(P均<0.001),且SNR均显著高于A组(P均<0.001)。A1、A2和B组钙化体积的差异均无统计学意义(P均>0.05)。A1组、A2组Agatston积分和质量分数的差异均无统计学意义(P均>0.05),但B组的Agatston积分和质量分数均明显低于A1组、A2组(P均<0.05)。在极低风险、低风险和中风险人群(Agatston积分≤100,n=44)中,钙化体积、Agatston积分和质量分数在A1、A2和B组的差异均无统计学意义(P均>0.05)。 **结论**　胸部平扫CT时采用自动钙化积分测量可作为一种机会性诊断方法,对无症状人群进行初步筛查,尤其对于中低风险人群,其钙化体积、Agatston积分和质量分数准确性好,图像质量满意。

【关键词】 钙化积分;门控;非门控;平扫;信噪比

【中图分类号】 R541.4;R814.42　　【文献标识码】 A　　【文章编号】 1005-8001(2026)01-0022-06

Feasibility of automated coronary calcium scoring on non-contrast chest CT

ZHOU Tao, LIU Changbin, WANG Xiu, SUN Nannan, ZHANG Min, MA Zhuangfei, LI Ying. Department of Radiology, People's Hospital Affiliated to Shandong First Medical University/Jinan City People's Hospital, Shandong 271199, China

Corresponding author: LI Ying, Email: yingliyingxiang@163.com

【**Abstract**】 **Objective**　To investigate the feasibility of automated coronary calcium scoring on non-contrast chest CT. **Methods**　A total of 80 patients, who underwent coronary artery calcium scoring (CACS) CT and non-contrast chest CT in our hospital using 320-row wide-detector CT scanner (Canon Medical Systems) from November 2024 to October 2025 were retrospectively enrolled. The signal-to-noise ratio (SNR) was assessed by measuring CT values and image noise in the aortic root, left ventricular cavity, and subcutaneous fat of the chest wall. Subjective image quality was evaluated using a 4-point scale on the clarity of coronary artery calcification display and the sharpness of cardiac borders. On CACS CT, calcium scoring was performed using both manual (group A1) and automated (group A2) calcium scoring software. On non-contrast chest CT (group B), only automated calcium scoring software was used. All calcium scoring measurements included calcification volume, Agatston score, and mass score. **Results**　In the aortic root, left ventricular cavity, and subcutaneous fat of the chest wall, the image noise was significantly lower (all P<0.001) and SNRs were significantly higher (all P<0.001) on non-contrast chest CT than that on CACS CT. There were no significant differences in calcification volume among A1, A2, and B groups (all P>0.05). The Agatston score and mass score in group B were significantly lower than those in A1 and A2 groups (all P<0.05) whereas the differences were not significant between A1 and A2 groups (all P>0.05). In the very-low-risk, low-risk, and intermediate-risk population (Agatston score ≤100, n=44), there were no

DOI:10.3969/j.issn.1005-8001.2026.01.004

基金项目:山东省医药卫生重点学科资助项目(鲁卫科教字[2022]3号);济南市临床医学科技创新计划项目(202430066);济南市临床医学研究中心专项资助项目(202101002)

作者单位:271199 山东济南,山东第一医科大学附属人民医院(济南市人民医院)影像科(周涛、刘长斌、孙楠楠、张敏、李莹),肾病风湿科(王秀);100027 北京,佳能医疗系统(中国)有限公司(马壮飞)

通信作者:李莹,Email: yingliyingxiang@163.com

significant differences in calcification volume, Agatston score, and mass score among A1, A2 and B groups (all $P>0.05$). **Conclusion** The automated calcification scoring on non-contrast chest CT can be used for initial evaluation of asymptomatic individuals, particularly in low-to intermediate-risk populations. The calcification volume, Agatston score, and mass score were accurate with low image noise and high SNR.

【**Key words**】 Calcium score; Gated; Non-gated; Non-contrast; Signal-to-noise ratio

在心血管疾病的临床管理中，冠状动脉钙化积分作为一种重要的预测指标，广泛应用于冠心病的风险评估[1-3]。近年来，冠状动脉钙化积分的检测方法逐渐多样化。传统的心电门控CT扫描能够提供较为准确的冠状动脉钙化积分测量，但其操作复杂且存在辐射暴露问题，由此催生了对非门控技术的研究兴趣[4]。当前，已有诸多研究进行了非门控CT在冠状动脉钙化评估中的应用探讨[5]。随着人工智能算法的发展，特别是钙化自动识别技术的进步，研究开始逐渐应用于传统的心电门控检查[4, 6]。理论上讲，钙化自动识别技术能提升非门控技术下对冠状动脉钙化的识别能力。本研究旨在通过比较心电门控钙化积分扫描与非门控胸部平扫CT在评估钙化积分中的差异，探讨自动钙化积分测量在胸部平扫CT中应用的可行性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究采用回顾性设计，纳入了2024年11月—2025年10月在我院接受过冠状动脉钙化积分扫描及胸部CT平扫两项检查的受检者。纳入标准为：1)接受两项检查的时间间隔在3个月内；2)年龄超过18岁；3)无心脏手术史。排除标准：严重伪影、图像质量差、既往冠状动脉血运重建史。

1.2 CT检查

采用320排宽体探测器CT(Aquilion ONE Genesis Edition，Canon Medical Systems)进行扫描。冠状动脉钙化积分扫描(A组)采用心电门控扫描方式。若患者心率大于75次/分，在扫描前30 min给予β受体阻滞剂控制心率。扫描参数：管电压120 kVp，自动管电流调制(噪声指数12 HU)，准直器宽度160×0.5 mm，视野320 mm，矩阵512×512，旋转时间0.275 s，采集时相为R-R间期的75%。采用混合迭代算法(adaptive iterative dose reduction 3D，AIDR 3D)重建图像，层厚和层间距均为3 mm。胸部CT平扫(B组)采用非心电门控扫描方式。扫描参数：管电压120 kVp，自动管电流调制(噪声指数7.5 HU)，准直器宽度80×0.5 mm，视野400 mm，矩阵512×512，旋转时间0.5 s，采用AIDR 3D重建图像，层厚和层间距均为3 mm。A组图像分别使用手动(Neusoft CCS，version 1.2，A1组)和自动(Neusoft CCSpro，version 1.7，A2组)钙化积分软件进行钙化积分测量；B组图像采用自动钙化积分软件进行钙化积分测量。所有的钙化积分测量指标包括钙化体积、Agaston积分、质量分数。

1.3 图像观察指标

1.3.1 客观图像质量

图像客观评价采用标准化定量分析流程。先由一名放射科医师(5年以上心血管影像诊断经验)在主动脉根部、左心室腔及胸壁皮下脂肪，使用同步对比视图定位三组中解剖对应区域；再放置直径20 mm的圆形兴趣区(region of interest，ROI)进行测量；最后，记录ROI内的CT值及图像噪声，图像噪声定义为ROI内CT值的标准差(standard deviation，SD)，计算信噪比(signal-to-noise ratio，SNR)。所有测量均重复3次取均值。

1.3.2 主观图像质量

由两名有8年以上心血管影像诊断经验的放射科医师以双盲法对图像主观质量进行评价、评价内容：冠状动脉钙化的显示清晰度、心脏边缘的锐利程度。评分采用4分法：1分，图像质量差，钙化显示不清晰，不能用于诊断；2分，图像质量显著降低，钙化显示一般，但仍足以诊断；3分，图像质量轻度降低，钙化显示良好；4分，图像质量优秀，钙化显示清晰[7, 8]。

1.3.3 钙化积分测量

由1名有5年以上心血管影像诊断经验的放射科医师采用双盲法独立分析，在标准化显示窗设置(窗宽800 HU/窗位200 HU)下分别记录各主要冠状动脉(左主干、左前降支、左回旋支及右冠状动脉)的钙化体积(mm^3)、Agatston积分及质量分数(mg/cm^3)。根据Agatston评分，受检者被归入以下五个冠状动脉钙化积分风险类别：极低风险(0)、

低风险(1~10)、中风险(11~100)、高风险(101~400)和极高风险(>400)[9, 10]。

1.4　辐射剂量

分别统计A组和B组的容积CT剂量指数(volume CT dose index, $CTDI_{vol}$)、剂量长度乘积(dose-length product, DLP)与有效剂量(effective dose, ED)。

1.5　统计分析

采用SPSS 22.0统计分析软件。以$\bar{x} \pm s$表示符合正态分布的计量资料,A组和B组间客观图像质量比较采用独立样本t检验,A组和B组间主观图像质量评分采用非参数检验。采用Kappa一致性检验评估两名医师对主观图像质量评分的一致性;当0.6<Kappa值≤0.8时,表明有较高的一致性;Kappa值>0.8时,表明有极好的一致性[11]。在A1、A2和B组三组之间采用非参数检验比较钙化体积,Agatston积分和质量分数的差异是否有统计学意义,组间比较采用配对检验。A1、A2及B组行加权Kappa分析,比较三种方法在极低风险、低风险、中风险、高风险及极高风险人群中分组的一致性。P<0.05表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　一般资料

研究在剔除了B组的5例图像质量较差无法评估的患者后,共纳入80例患者,平均年龄(62.3±8.7)岁,其中男63例(78.8 %)(表1)。

表 1　一般资料

基本信息	数值
男性/例	63(78.8%)
年龄/岁	62.30±8.70
身高/m	1.71±0.08
体重/kg	65.76±9.06
BMI/(kg/m²)	22.32±1.84
心率/(次/分)	72.19±4.17
吸烟比例(%)	27.5
高血压比例(%)	25

2.2　客观图像质量

A组和B组在主动脉根部、左心室腔及胸壁皮下脂肪处的CT值均无统计学差异(P均>0.05)。B组在主动脉根部、左心室腔及胸壁皮下脂肪处的SD均显著低于A组(P均<0.001),且SNR均显著高于A组(P均<0.001)(表2)。

2.3　主观图像质量

两名医师对A组和B组的主观图像质量评分一致性高(Kappa=0.97)。A组与B组的主观评分分别为3.40±0.72与2.84±0.68,差异有统计学意义(P<0.001)。

2.4　钙化积分测量

三组钙化体积的差异均无统计学意义(P均>0.05)。A1组、A2组Agatston积分和质量分数的差异均无统计学意义(P均>0.05),但B组的Agatston积分和质量分数均明显低于A1组、A2组(P均<0.05)(表3)。

亚组分析显示,在极低风险(5例6.3%)、低风险(17例,21.3%)和中风险人群(22例,27.5%)(Agatston积分≤100)中,钙化体积、Agatston积分和质量分数在A1、A2和B组的差异均无统计学意义(P均>0.05)。而在高风险(17例21.3%)和极高风险人群(19例,23.8%)(Agatston积分>100)中,A1组、A2组的钙化体积、Agatston积分和质量分数均显著高于B组(P均<0.05)(表4,图1)。

A1、A2及B组三种方法在极低风险、低风险、中

表 2　A 组和 B 组的客观图像质量

		A 组	B 组	P
主动脉根部/HU	CT 值	46.15±1.74	46.61±2.38	0.180
	SD	15.11±0.45	6.57±0.21	0.000
	SNR	3.05±0.02	6.57±0.21	0.000
左心室腔/HU	CT 值	37.43±8.85	37.75±8.85	0.812
	SD	17.72±1.38	7.54±0.58	0.000
	SNR	2.13±0.62	5.06±1.46	0.000
胸壁皮下脂肪/HU	CT 值	−109.97±0.46	−109.99±0.48	0.696
	SD	17.34±0.82	6.21±0.42	0.000
	SNR	6.36±0.31	17.81±1.28	0.000

表 3　A 组和 B 组的钙化积分测量

	A1 组	A2 组	B 组	P	$P1$	$P2$	$P3$
钙化体积/mm³	63.75(5.72, 296.95)	69.26(6.21, 322.28)	58.12(5.49, 121.63)	0.089	0.750	0.073	0.047
Agatston 积分	85.00(7.63, 395.31)	92.04(7.71, 420.02)	57.99(6.78, 152.75)	0.048	0.711	0.047	0.025
质量分数/(mg/cm³)	13.94(1.25, 64.83)	14.54(1.30, 77.60)	10.61(1.16, 24.76)	0.046	0.489	0.049	0.026

注:P1:A1组比A2组;P2:A1组比B组;P3:A2组比B组。

表 4 A 组和 B 组不同等级风险人群的钙化积分测量

		A1 组	A2 组	B 组	*P*	*P*1	*P*2	*P*3
低风险人群（*n*=44）	钙化体积/mm³	7.13（235，42.06）	7.74（2.55，45.69）	6.84（2.25，40.37）	0.906	0.773	0.871	0.667
	Agatston 积分	9.50（3.13，56.07）	9.62（3，17，62.73）	7.64（2.3，35.25）	0.463	0.754	0.352	0.247
	质量分数/（mg/cm³）	1.56（0.51，9.20）	1.62（0.53，9.59）	1.44（0.48，8.50）	0.913	0.871	0.783	0.679
高风险人群（*n*=36）	钙化体积/mm³	307.50（194.53，378.75）	330.18（211.44，403.55）	123.30（107.66，154.34）	<0.001	0.521	0.000	0.000
	Agatston 积分	405.00（254.69，497.50）	429.82（277.72，523.42）	182.92（109.37，249.55）	<0.001	0.437	<0.001	<0.001
	质量分数/（mg/cm³）	66.42（41.77，81.59）	79.26（53.55，95.08）	25.46（18.55，41.54）	<0.001	0.040	0.016	<0.001

注：P1：A1组比A2组；P2：A1组比B组；P3：A2组比B组。低风险人群包括极低、低、中风险；高风险人群包括高、极高风险。

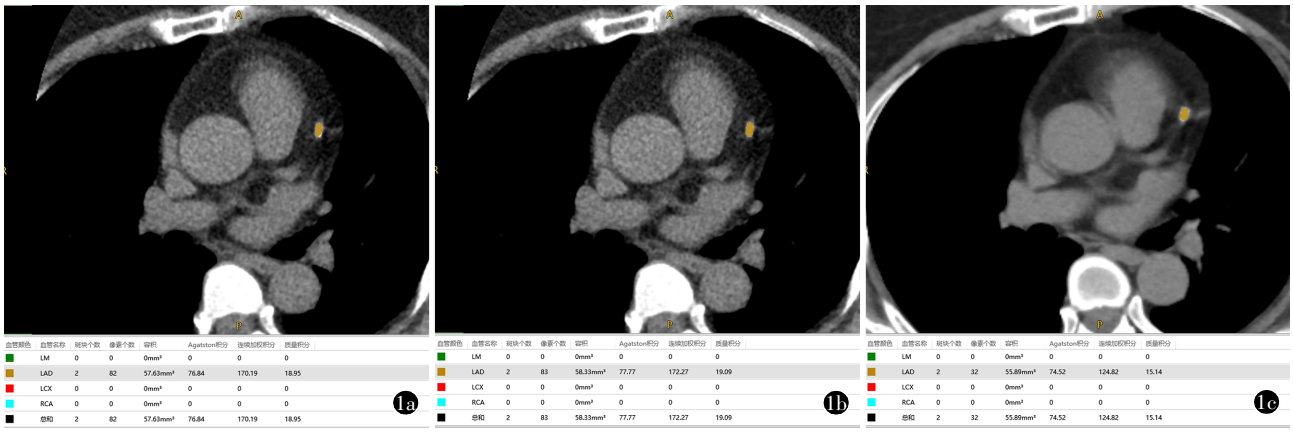

图1 A1、A2和B组钙化积分测量示意图。钙化积分危险分层为中风险的患者。a）A1组的Agatston积分为76.84；b）A2组的Agatston积分为77.77；c）B组的Agatston积分为74.52。

风险、高风险及极高分险人群中，加权Kappa一致性检验值为0.96（95%CI：0.93~1.00）（A1组比A2组）、0.78（95%CI：0.71~0.86）（A1组比B组）。B组错配概率在极低风险、低风险、中风险、高风险及极高风险人群中分别为0%、0%、13.6%、29.4%、73.7%。

2.5 辐射剂量

A 组的 $CTDI_{vol}$、DLP 和 ED 分别为（2.41±0.20）mGy、（39.13±4.55）mGy·cm、（0.55±0.06）mSv。B组的 $CTDI_{vol}$、DLP和ED分别为（15.26±5.37）mGy、（632.16±273.79）mGy·cm、（8.85±3.83）mSv（*P*均<0.001）。

3 讨论

冠状动脉硬化性心脏病（冠心病）是全球范围内导致死亡的主要原因之一，其发病率和致死率在许多国家持续上升[12]。冠心病的发病机制与动脉粥样硬化密切相关，钙化是动脉粥样硬化的重要特征，反映了心血管疾病的风险。通过计算冠状动脉钙化积分，可以帮助医生早期发现潜在的心血管疾病风险，从而采取相应的干预措施，以降低患者的心血管事件发生率[1, 13]。本研究结果显示，尽管非门控钙化积分测量与心电门控钙化积分测量在高风险群体中存在显著差异，但在中低风险人群中，两者一致性较高。

研究表明[14]胸部CT联合TurboFlash模式具备定量计算钙化积分的潜力；自动钙化积分识别技术已经取得了巨大进步[15]。以往自动钙化识别技术研究多集中于心电门控技术的应用，缺乏对非门控技术潜力的深入探讨。本研究显示，尽管传统的心电门控技术在主观图像质量上表现更佳，但在中低钙化风险人群中，非门控技术的钙化积分测量与传统方法之间的差异并不显著。这一发现为非门控技术在临床筛查中提供了新思路，尤其在中低风险人群的无症状人群评估中，有望通过已有的胸部平扫数据，进行冠心病风险的机会筛查，从而减少不必要的辐射暴露，契合当前临床需求与安全标准。

心电门控钙化积分测量与非门控钙化积分测量的差异在于：心电门控技术下钙化积分因运动伪影造成的测量误差较小，而非门控技术由于心脏搏动带来的运动伪影会严重影响钙化评估的准确性[16]。因此，理论上非门控钙化积分存在先天劣势。然而，在本研究中，自动冠状动脉钙化识别技

术的实现得益于算法的进步。该技术按照设定的钙化灶密度阈值自动识别像素区域，进行连通区域分析，将相邻的高CT值像素聚类为独立钙化斑块，排除噪声干扰(如肋骨钙化)，基于钙化面积和密度的权重系数计算评分。利用CT图像开展组织分割分析，涵盖心脏各个腔室，输出不同的组织数据。基于组织结构化成果，构建并推测血管树结构图，依照血管树解剖结构标注主干走向，借助空间位置关系进行区域识别；基于血管位置识别与钙化计算结果，自动完成CT图像钙化的识别和钙化积分的计算。因此，算法所具备的优势在一定程度上提升了钙化积分测量的准确性。

在本研究中，B组比A组的SD低、SNR高，而SD及SNR的会对钙化积分的计算产生一定的影响。更高的SD会降低对钙化积分130 HU阈值判断的可靠性，引入随机误差，使钙化积分结果变得不稳定和不准确，尤其是对小病灶和低密度病灶[17]。更高的SNR能显著提高钙化检测的敏感度，特别是对小病灶和分割的准确性，从而提升积分的整体准确性[18,19]。为了获得准确的钙化积分，必须将SD控制在较低且稳定的水平。SD、SNR在一定程度上提高了非门控胸部平扫在钙化积分测量中的准确性。但也不必盲目追求低SD而增加辐射剂量，传统的钙化积分扫描已经能保证在较低的有效辐射剂量下，获取满足诊断需求的图像质量[20]。

本研究结果显示，非门控组自动钙化积分测量在中低风险人群中的准确性较高。这可能归因于冠状动脉钙化进展较缓，钙化积分值越小，受运动伪影影响产生的波动也越小，从而减少了误差。基于此，在胸部CT平扫图像上直接进行冠状动脉钙化积分评估，不仅简化了评估流程，作为一种机会性诊断方法，减少了额外检查的负担。相反，高风险及以上人群的一致性较差可能源于多种因素。由于钙化对运动伪影的依赖性会随着钙化灶平均密度的增加而呈线性变化[21]。对于密度更高的钙化灶，其钙化受运动影响的程度更大[22]。虽然高风险人群的检测准确性不及中低风险人群，但一次胸部CT平扫检查的诊断价值已经远超预期。对于高危人群来说，一次冠状动脉CTA或DSA检查可能更重要。

本研究的局限性：首先，样本量较小，且样本均来自单一中心，可能会对研究的普适性产生影响；其次，研究过程中排除了一部分图像质量欠佳的个案，此举会引发选择偏倚。

综上所述，本研究表明在胸部平扫CT中采用自动钙化积分测量可以作为一种机会性诊断方法，对无症状人群进行初步筛查，尤其在中低风险人群中，钙化体积、Agatston积分和质量分数准确性好，且具有较低的图像噪声与较高的信噪比。

4 参考文献

[1] 杨帆, 李东. CT冠状动脉钙化积分的临床意义与应用现状[J]. 中华放射学杂志, 2025,59(4):468-472.

[2] 乔琛, 张蕾, 李晓生, 等. 冠状动脉钙化积分与传统危险因素相关性的研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2015,21(1):34-37.

[3] 杨倩, 胡琼, 杨力, 等. 冠状动脉钙化积分联合血清指标对稳定性冠心病患者预后的预测价值[J]. 中华老年心脑血管病杂志, 2025,27(10):1322-1325.

[4] Abdelrahman K, Shiyovich A, Huck D M, et al. Artificial intelligence in coronary artery calcium scoring detection and quantification[J]. Diagnostics, 2024,14(2):125.

[5] 顾海峰, 王清清, 梁泉, 等. 利用非门控胸部CT平扫数据行冠状动脉钙化积分评价的可行性分析[J]. 医学影像学杂志, 2024,34(7):22-26.

[6] 孙安, 萧毅, 樊荣荣, 等. 机器学习在冠状动脉钙化评估中的研究进展[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2021,27(2):175-178.

[7] Wang X P, Zhu X M, Zhu Y S, et al. Automatic tube potential selection with tube current modulation in coronary CT angiography: can it achieve consistent image quality among various individuals?[J]. Exp Ther Med, 2018,16(1):253-259.

[8] Lee A M, Beaudoin J, Engel L C, et al. Assessment of image quality and radiation dose of prospectively ECG-triggered adaptive dual-source coronary computed tomography angiography (cCTA) with arrhythmia rejection algorithm in systole versus diastole: a retrospective cohort study[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2013,29(6):1361-1370.

[9] Ihdayhid A R, Lan N S R, Williams M, et al. Evaluation of an artificial intelligence coronary artery calcium scoring model from computed tomography[J]. Eur Radiol, 2023,33(1):321-329.

[10] Wieske V, Walther M, Dubourg B, et al. Computed tomography angiography versus Agatston score for diagnosis of coronary artery disease in patients with stable chest pain: individual patient data meta-analysis of the international COME-CCT Consortium[J]. Eur Radiol, 2022,32(8):5233-5245.

[11] 陆善金, 丁可, 黄瑞岁, 等. 多层螺旋CT三维血管成像在静脉性阴茎海绵体漏的应用与征象分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024,22(6):151-153.

[12] Jayashree S, Arindam M, Vijay K V. Genetic epidemiology of coronary artery disease: an Asian Indian perspective[J]. J Genet 2015;94(3):539-549.

[13] 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(6):595-607.

[14] 顾耕, 陶欣慰, 邓建宏. 无门控大螺距胸部CT扫描心脏冠状动脉钙化积分的可行性研究[J]. 实用放射学杂志, 2022,38(6):910-914.

[15] 陈丽虹, 郭银霞, 李雅楠, 等. 人工智能冠状动脉钙化积分自动测量方法的临床有效性评估[J]. 实用放射学杂志, 2023,39(1):45-48.

[16] Greuter M J, Groen J M, Nicolai L J, et al. A model for quantitative correction of coronary calcium scores on multidetector, dual source, and electron beam computed tomography for influences of linear motion, calcification density, and temporal resolution: a cardiac phantom study[J]. Med Phys, 2009,36(11):5079-5088.

[17] Li M T, Cao J Y, Li M, et al. Low skeletal muscle density is independently associated with cardiac valve calcification in dialysis patients[J]. Front Physiol, 2025,16:1690904.

[18] Hu Y H, Zhao W. The effect of angular dose distribution on the detection of microcalcifications in digital breast tomosynthesis [J]. Med Phys, 2011,38(5):2455-2466.

[19] Duan X, Huang H, Zhao W. In-silico study of the impact of system design parameters on microcalcification detection in wide-angle digital breast tomosynthesis[J]. J Med Imaging, 2025,12(Suppl 1):S13002.

[20] Luhur R, Schuijf J D, Mews J, et al. Accuracy of coronary artery calcium scoring with tube current reduction by 75%, using an adaptive iterative reconstruction algorithm[J]. Br J Radiol, 2018,91(1084):20170678.

[21] Galas A, Hryniewiecki T, Kępka C, et al. May dual-source computed tomography angiography replace invasive coronary angiography in the evaluation of patients referred for valvular disease surgery?[J]. Kardiol Pol, 2012,70(9):877-882.

[22] Park Y, Lee J E, Lim M J, et al. First whole-genome sequencing analysis of tracheobronchopathia osteochondroplastica with critical vocal cord involvement: proposing a novel pathophysiological model[J]. Diagnostics, 2026,16(2):210.

（收稿日期：2025-12-19）