

陈杰, 孙会利, 张焕, 等. 基于 AI 的胸部 CT 平扫对冠脉钙化积分的准确性评价[J]. CT 理论与应用研究, 2021, 30(2): 234-242. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.11.  
CHEN J, SUN H L, ZHANG H, et al. Accuracy evaluation of coronary artery calcification score based on AI chest CT plain scan[J]. CT Theory and Applications, 2021, 30(2): 234-242. DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.11. (in Chinese).

## 基于 AI 的胸部 CT 平扫对冠脉钙化积分的准确性评价

陈杰<sup>1</sup>, 孙会利<sup>1</sup>, 张焕<sup>1</sup>, 崔斌<sup>1</sup>, 郭超<sup>2</sup>, 吴筱音<sup>2</sup>, 郭宁<sup>2</sup>, 王志群<sup>1</sup>✉

1. 航天中心医院(北京大学航天临床医学院)影像科, 北京 100049
2. 数坤(北京)网络科技有限公司, 北京 100102

**摘要:**目的: 探讨基于人工智能(AI)的非门控胸部低剂量CT(LDCT)平扫与心电门控CT血管造影(ECG gated-CTA)对冠状动脉钙化积分(CACS)危险度分层的一致性。方法: 回顾性分析行冠状动脉CTA扫描的100例患者, 所有患者均行冠脉ECG gated-CTA扫描和常规非门控胸部LDCT平扫。在Siemens后处理工作站采用Agatston钙化积分软件记录ECG gated-CTA钙化积分, 采用数坤人工智能分析软件记录非门控胸部CT平扫的钙化积分。采用原标准界值, 对非门控胸部LDCT平扫与ECG gated-CTA评估的CACS值危险度分层进行Kappa检验; 采用受试者工作特征曲线(ROC)检验非门控胸部LDCT平扫的诊断效能并获取最佳诊断新界值, 采用新界值的非门控胸部LDCT与ECG gated-CTA评估的CACS值危险度分层进行进一步Kappa检验; 比较两种方法的钙化积分的Pearson相关性,  $P < 0.001$  为有统计学显著差异。结果: 对非门控胸部LDCT平扫的CACS值按原界值进行危险度分层, 与ECG gated-CTA的CACS值危险度分层进行一致性检验, Kappa值为0.804,  $P < 0.001$ 。非门控胸部LDCT平扫测得的CACS值与ECG gated-CTA测得的CACS值比较, 低危-中危组的ROC曲线下面积(AUC)为0.910,  $P < 0.001$ , 最佳诊断界值为112.35; 中危-高危组AUC为0.988,  $P < 0.001$ , 最佳诊断界值为398.31。对非门控胸部LDCT平扫测得的CACS值按最佳新诊断界值进行危险度分层, 与ECG-gated CTA平扫测得的CACS值的按原有界值危险度分层进行一致性检验, Kappa值为0.850,  $P < 0.001$ 。两种方法所测Pearson相关系数为0.985,  $P < 0.001$ , 存在显著相关性。结论: 基于人工智能技术的非门控胸部CT平扫与ECG-gated CTA对冠状动脉钙化积分的评估具有较高的一致性; 本研究制定了非门控条件下CACS值危险度分层新标准, 进一步提高了非门控胸部LDCT评估CACS值的准确性, 有助于冠心病风险的早期筛查。

**关键词:** 人工智能; X线计算机断层; 冠状动脉钙化积分

DOI:10.15953/j.1004-4140.2021.30.02.11 中图分类号: R 814 文献标志码: A

冠心病是全球死亡率最高的疾病之一, 中国的冠心病死亡人数已列为世界第二位, 因此早期预警并及时采取干预措施, 可以预防心血管事件, 降低群体发病率及病死率<sup>[1]</sup>。冠状动脉钙化是冠状动脉粥样硬化的标志和早期征象, 而冠状动脉钙化积分(coronary artery calcification score, CACS)是冠状动脉钙化的量化指标。研究显示, CACS积分可用于预测冠心病事件的风险分级, 与未来发生心血管事件的风险密切相关<sup>[2-4]</sup>。心电门控冠状动脉CT血管成像(CT angiography, CTA)是冠状动脉最重要的无创性检查方法, 冠状动脉CTA检查中的平扫可以测量冠脉钙化积分, 但是很少单独使用。

近年来非门控胸部低剂量CT(low dose CT, LDCT)应用于各级健康人群的筛查, 能否采用非门控胸部CT平扫评估CACS受到广泛关注<sup>[5]</sup>。既往研究多采用视觉评估的方法评价两种方法的一致性, 本研究拟将人工智能技术应用于非门控胸部LDCT钙化评分, 并比较两种

方法所获钙化积分对冠心病患者危险度分层的一致性，从而提供新的钙化积分评估工具，更好地指导临床早期干预和治疗。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

收集本院 2019 年 7 月至 2020 年 5 月进行心电门控冠状动脉 CTA 检查并同时完成非门控胸部 CT 平扫，且冠状动脉有钙化的患者。排除标准：①碘过敏患者不能完成冠脉 CTA 者；②胸部 CT 平扫时患者心率太快，心脏运动伪影较重，影响图像观察者；③冠状动脉支架置入术后或冠脉搭桥术后者。最终入组病例共 100 例，男 57 例，女 43 例，年龄范围为 39~87 岁，平均年龄（63 ± 9）岁。

### 1.2 检查方法

所有入组病例的心电门控冠状动脉 CTA 均由 SIEMENS SOMATOM Force CT 扫描机完成，同一患者的非门控胸部 CT 平扫图像由 SOMATOM Force CT 及 GE LightSpeed VCT XT CT 扫描机完成，均采用相同的扫描参数。冠状动脉 CTA 扫描范围为气管隆突下至心底，包括整个心脏；扫描参数：管电压 120 kV，管电流 500 mA，采集矩阵 512 × 512，采集相位 30%~40%（心率 > 75 bpm）、60%~80%（心率 ≤ 75 bpm），层厚为 0.75 mm。非门控胸部 CT 平扫扫描范围自肺尖至膈顶；检查过程中未明确控制心率。扫描参数：管电压 120 kV，自动管电流，采集矩阵 512 × 512，层厚为 1.25 mm。

### 1.3 冠脉钙化积分（CACS）定量测量

将所有入组病例的冠脉 CTA 图像上传至西门子公司后处理工作站上，所有非门控胸部 CT 图像上传至数坤医疗公司人工智能（artificial intelligence, AI）平台上 Heart-Beat CS Agatston 积分的分析软件上，分别进行测量。

西门子公司后处理工作站上，我们取 CT 值 130 HU 为阈值，面积  $0.5 \text{ mm}^2$  为钙化灶<sup>[6]</sup>，分别标记各支冠状动脉及其分支的钙化区域，依据分割钙化斑块区域，分别计算每支冠脉及其分支的密度积分、体积积分及质量积分，最后计算各支冠脉积分及其总和，即为 CACS。冠状动脉分支的观察按解剖学定义的左主干、左前降支（包括对角支）、左回旋支（包括钝缘支）及右冠状动脉四大支。

通过人工智能技术利用胸部 CT 平扫图像计算钙化积分算法主要分为 3 个步骤：分割心脏区域，分割冠脉钙化区域、计算钙化积分。首先标注心脏的轮廓区域，利用 3D Unet 神经网络分割心脏区域范围，作为下一步的输入；然后标注钙化区域的轮廓，以及钙化区域所属的冠脉分支，同样利用 3D Unet 神经网络分割钙化斑块区域，以及该钙化区域所属的冠脉分支，标注时还要注意只标钙化本体，不要标注伪影。最后依据分割钙化斑块区域，分别计算每支冠脉及其分支以及总的 Agatston 积分。将测得的 CACS 分别按 1~100、101~400 及 > 400 分为低危、中危和高危进行冠心病危险度分层<sup>[7]</sup>。

### 1.4 辐射剂量的计算

记录设备自动计算产生的 CT 容积剂量指数（CT dose index, CTDI<sub>vol</sub>）、剂量长度乘积（dose length product, DLP），将 DLP 乘以转换系数  $k$  计算有效辐射剂量（effective

dose, ED),  $k=0.014\text{ mSv}/(\text{mGy}\cdot\text{cm})$ 。

## 1.5 统计学方法

采用 SPSS 21.0 软件对数据进行统计学分析。将同一患者由心电门控冠脉 CTA 及基于人工智能的非门控下胸部 CT 测得的 CACS 分别按照 Agatston 积分进行危险度分层, 采用 Kappa 值进行一致性检验, 其中 Kappa 值  $<0.4$  为一致性差,  $0.4\leq\text{Kappa 值}<0.75$  为一致性一般,  $0.75\leq\text{Kappa 值}<1$  为一致性好。

采用受试者工作特征曲线 (receiver operator characteristic curve, ROC) 来检验人工智能的非门控胸部 LDCT 获得的 CACS 对于危险度分层的诊断效能, 其中曲线下面积 (area under curve, AUC) 为  $0.5\sim0.7$  表示诊断价值较低,  $0.7\sim0.9$  表示诊断价值中等,  $>0.9$  时表示诊断价值较高。取约登指数最大的截断点作为危险度分层的新界值, 并将两种方法测得的 CACS 按照新的界值进行重新划分, 再采用 Kappa 值对新的分层结果进行一致性检验分析。基于新的界值下两种方法测得的 CACS 值重新分层, 采用 Pearson 相关系数进行两者的相关性分析。设定  $P<0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 辐射剂量

非门控胸部 LDCT 辐射剂量平均 CTDIvol 为  $7.4\text{ mGy}$ , 平均 DLP 为  $(269.21\pm 8.31)\text{ mGy}\cdot\text{cm}$ , 平均 ED 为  $(3.76\pm 0.11)\text{ mSv}$ , ECG-gated CT 平扫辐射剂量平均 CTDIvol 为  $6.48\text{ mGy}$ , 平均 DLP 为  $(110.59\pm 7.24)\text{ mGy}\cdot\text{cm}$ , 平均 ED 为  $(1.55\pm 0.10)\text{ mSv}$ 。

### 2.2 按原界值危险度分层, 非门控胸部 LDCT 与 ECG-gated CT 一致性检验

根据原界值将基于 AI 的非门控胸部 LDCT 的 CACS 值及 ECG-gated CT 的 CACS 值进行分层, 即  $1\sim100$ 、 $101\sim400$  及  $>400$  分别为低危、中危及高危, 并对两种方法进行一致性检验, Kappa 值为  $0.804$ ,  $P<0.001$ , 置信区间 (95% CI:  $0.680\sim0.916$ , 表 1)。

### 2.3 新低危-中危分层界值

对非门控胸部 LDCT 与 ECG-gated CT 测得的 CACS 值中危组进行诊断准确效能评价, 得出 ROC 曲线图 (图 1)。AUC 为  $0.910$  (95% CI:  $0.838\sim0.982$ ,  $P<0.001$ ), 诊断效能较高。取约登指数最大的截断点, 获取新低危-中危最佳分层界值  $112.35$ , 敏感度为  $78.8\%$ , 特异度为  $89.7\%$ 。

### 2.4 新中危-高危分层界值

对非门控胸部 LDCT 平扫与 ECG-gated CT 测得的 CACS 值高危组进行诊断准确效能评价, 得出 ROC 曲线图 (图 2)。AUC  $0.988$  (95% CI:  $0.970\sim1.000$ ,  $P<0.001$ ), 诊断效能很高, 取约登指数最大的截断点, 获取新中危-高危最佳分层界值  $398.31$ , 敏感度为  $97.3\%$ , 特异度为  $94.3\%$ 。

### 2.5 按新界值危险度分层, 非门控胸部 LDCT 与 ECG-gated CT 一致性检验

根据上述 ROC 曲线得出的最佳诊断界值 (取整数), 做出新的适合非门控 LDCT 的 CACS

危险度分层，即新低危 1~112，新中危 113~398，新高危 >398。将该新危险度分层与采用 ECG-gated CT 按照原有标准划分的危险度分层进行一致性检验(表 2),Kappa 值为 0.850,  $P < 0.001$ , (95% CI: 0.714~0.931), 两种方法一致性进一步提高(表 2)。

表 1 按原界值分层比较非门控胸部 LDCT 与 ECG-gated CT 危险度分层一致性 (n)

Table 1 Comparison of risk stratification consistency of non-gated chest LDCT and ECG-gated CT according to original threshold value (n)

LDCT 非门控胸部	EEG-gated CT			总计
	低危	中危	高危	
低危	24	5	0	29
中危	5	27	2	34
高危	0	1	36	37
总计	29	33	38	100

表 2 按新界值分层比较非门控胸部 LDCT 与 ECG-gated CT 危险度分层一致性 (n)

Table 2 Comparison of risk stratification consistency of non-gated chest LDCT and ECG-gated CT by new threshold value (n)

LDCT 非门控胸部	EEG-gated CT			总计
	低危	中危	高危	
低危	27	2	0	29
中危	5	27	2	34
高危	0	1	36	37
总计	32	30	38	100

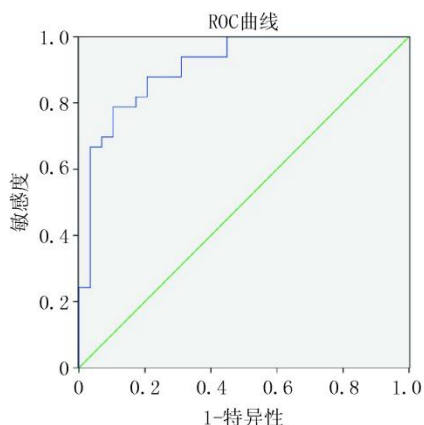


图 1 中危组 ROC 曲线图

Fig.1 ROC curve of the medium-risk group

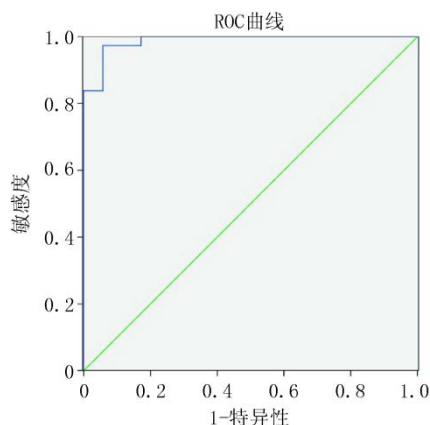


图 2 高危组 ROC 曲线图

Fig.2 ROC curve of high-risk group

## 2.6 两种方法 CACS 钙化积分相关分析

基于 AI 的非门控胸部 LDCT 的总 CACS 值与 ECG-gated CT 的总 CACS 值进行相关分析, 两者 Pearson 相关系数为 0.985,  $P < 0.001$ , 存在显著相关性(图 3)。图 4 显示基于 AI 的非门控胸部 LDCT 和 ECG-gated CT 两种方法标注对照。

## 3 讨论

### 3.1 非门控胸部 LDCT 平扫定量测量 CACS 值的意义及可行性

2016 年, 国际心血管 CT 协会发布了一项针对非门控胸部 CT 平扫发现冠状动脉钙化的报告指南<sup>[8]</sup>, 报告中提出, 高敏感 C 反应蛋白、颈动脉内膜、中膜厚度及 CACS 均可以用于

无症状人群心血管疾病的危险分层<sup>[9-10]</sup>，其中 CACS 通常作为预测严重冠状动脉疾病事件风险的重要生物标志物，使用 CT 评估 CACS 已成为被普遍接受的心血管风险分层工具<sup>[11-12]</sup>。指南中还指出，冠状动脉钙化的评估可以采用心电图门控下的 CT 平扫检查，CACS 评估也可以通过非门控胸部 CT 检查进行检测和量化，包括用于肺癌筛查的低辐射剂量 CT 检查。

近年来，大众对于体检的意识逐渐增强，非门控胸部 LDCT 平扫作为肺癌及其他肺部疾病的重要筛查方法已经被广泛应用，一次检查同时能够检测冠状动脉、胸主动脉和心脏瓣膜钙化等情况，应该作为常规评价内容在诊断报告中体现<sup>[13]</sup>，从而实现可靠的心血管风险自动评估<sup>[14]</sup>，可以早期发现冠心病发病的潜在风险，根据 CACS 的分层对受检人群提出建议，对于处于中、高风险分层的人群进行专科干预及治疗，能有效地改善或降低冠心病危险事件发生率，使得早期筛查的效益最大化。

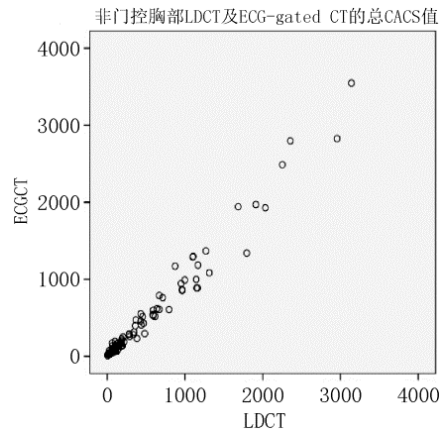
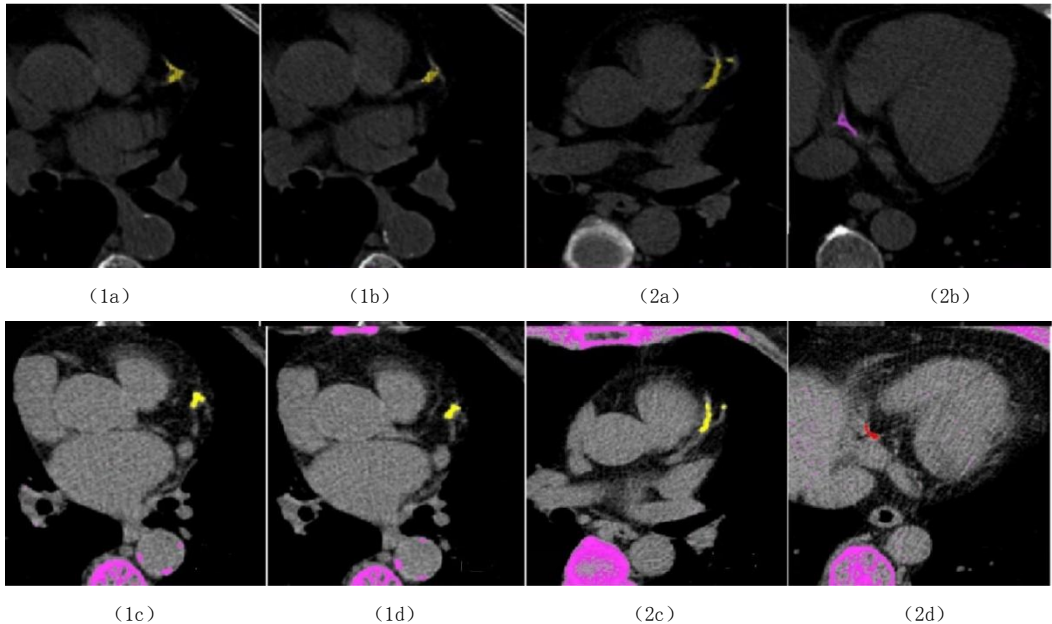


图3 两种方法钙化积分相关性

Fig.3 Calcification integral correlation between the two methods



注：(1a)~(1d) 图为 62 岁女性，(2a)~(2d) 图为 58 岁男性，上面一行为门控法手动标注的钙化，下一行图像为人工智能自动标注的钙化（两种方法颜色设置不同）。

图4 门控和非门控两种方法对照

Fig.4 Compares gated and non-gated methods

近期的研究表明，冠脉 CTA 获得的 CACS 与由非门控胸部 CT 平扫获得的 CACS 有极好的相关性。Chiles 等<sup>[15]</sup>发现半定量法冠状动脉钙化视觉评分与 Agatston 评分相关性较好；

Hughes-Austin<sup>[16]</sup>等的一项研究中，受检者分别进行了门控下 CTA 及非门控胸部 CT 平扫两种方法的扫描，采用同样方法测量钙化积分，随访 6 年后发现两种方法 CACS 值均与死亡率密切相关，两种方法都能很好地预测受试人群心血管病的死亡率；Huang 等<sup>[17]</sup>研究在肺癌筛查的同时对冠状动脉钙化进行视觉评估，因为胸部 CT 平扫对于密度较高的钙化斑块检出率非常高，其结论为冠状动脉钙化可视化评分同 Agatston 评分具有高度的一致性。这些研究均说明了非门控胸部 CT 平扫评估 CACS 是可行的，但这些研究均通过视觉评估的方法完成钙化积分，费时费力、效率不够高。

最新的一项研究中，Wang 等<sup>[18]</sup>讨论了人工智能深度学习下 CACS 评分的准确性，但 Wang 的研究讨论的是心电图门控 CT 的人工智能 CACS 和人工手动标注 CACS 的一致性，在无症状冠心病的筛查应用方面没有进一步挖掘和分析，针对非门控胸部 CT 的钙化积分评估能否采用人工智能方法实现值得深入探索。

本次研究创新点之一是在大数据分析基础上尝试采用人工智能软件分析非门控胸部 CT 的 CACS 与传统门控 CT 的 CACS 评分一致性，结果发现两者的危险度分层一致性较好，充分说明采用人工智能方法可以自动高效评估非门控胸部 LDCT 的钙化积分，从而为临床通过常规 LDCT 筛查冠心病及风险评估提供了理论依据。

### 3.2 非门控胸部 LDCT 平扫定量测量 CACS 值的新标准及准确性评价

本研究的第二个创新点是在人工智能分析结果的基础上，重新定义胸部 LDCT 的独有的危险度分层阈值，并根据新的诊断阈值进行危险度分层，从而进一步提升了分层的一致性和准确性。

本研究结果表明，非门控胸部 CT 平扫获得的 CACS 值按照原 Agatston 积分标准进行危险度分层与 ECG-gated CT 的一致性很好，说明应用非门控胸部 CT 平扫评估 CACS 并进行危险度分层是可靠的，但是仍然观察到 13% 的错分，其中低危组有 5 例被高估成中危组，中危组有 5 例被低估成了低危组，1 例被高估成了高危组，而高危组有 2 例被低估为中危组，误分主要集中在低危组和中危组（10%）。

根据本研究结果取约登指数最大点确定为最新危险度分层阈值，并取整数分组：低危 1~112，中危 113~398，高危 >398。根据新阈值重新分层，本组病例中低危组有 5 例被高估成中危组，中危组有 2 例被低估为低危组，有 1 例被高估成高危组，显著降低了错分的比率（8%），一定程度上体现了新阈值分层的优越性。

本研究有 5 例（5%）低危组病例被分至中危组，有 1 例（1%）中危组病例被分至高危组，与国内学者樊荣荣等<sup>[19]</sup>的研究类似，考虑可能多方面因素造成，首先行胸部 CT 平扫时一般不会控制心率，如果受检者心率比较快时，图像可能存在一定程度的冠状动脉运动伪影，此时 CACS 的评估会受到影响，进而影响危险度分层结果。其次非门控胸部 CT 平扫对 CACS 的测量采用的是人工智能的方法，在标注过程中也有可能存在辨认误差。最后，低危、中危及高危三个组的病例样本量偏少，应用大数据研究结果会更加准确，未来我们将进一步增加样本量，同时检查过程中采取措施控制患者的心率，并且进一步完善人工智能的算法，使得非门控胸部 CT 平扫评价 CACS 更接近门控标准。

### 3.3 非门控胸部 CT 平扫评估 CACS 值的临床应用价值和限度

随着生活水平的提高,“三高”人群越来越多,对人群筛查心血管疾病的需求越来越迫切,人们对健康需求日益增长,一些健康管理机构的服务模式逐渐向慢性病和常见病的有效控制 and 预防方向转变<sup>[20]</sup>,一次胸部 CT 平扫检查同时实现肺癌、慢阻肺及心血管疾病的筛查,而不增加辐射剂量,对于受检者本身的优势显而易见,对于降低家庭及社会的经济负担也非常重要。

同时,也要注意,胸部 CT 平扫评估冠脉钙化时,仅能评价病变的密度和范围,对于不稳定斑块及狭窄程度的识别尚有不足,因此胸部 CT 平扫 CACS 评估主要针对无症状冠心病的筛查和风险预警,尤其适用于健康管理,而对于已经有明确症状及体征的患者建议积极进行冠脉 CTA 及造影检查,从而对病情评估及有效治疗提供帮助<sup>[21]</sup>。

## 4 结论

本研究通过对比分析证实人工智能非门控胸部 CT 平扫测量冠脉钙化积分的应用价值,制定了非门控胸部 CT 平扫评估危险度分层的新标准,提高了分级的准确性和可靠性,为预测心血管疾病风险提供了客观有效的工具,从而有助于心血管疾病的初级预防和早期筛查。

## 参考文献

- [1] VEHMAS T. Visually scored calcifications in thoracic arteries predict death: follow-up study after lung cancer CT screening[J]. *Acta Radiologica*, 2012, 53(6): 643-647.
- [2] RUMBERGER J A, SHEEDY P F, BREEN J F, et al. Electron beam computed tomographic coronary calcium score cutpoints and severity of associated angiographic lumen stenosis[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 1997, 29(7): 1542-1548.
- [3] ELIAS-SMALE S E, PROENÇA R V, KOLLER M T, et al. Coronary calcium score improves classification of coronary heart disease risk in the elderly: The Rotterdam study[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2010, 56(17): 1407-1414.
- [4] JAIN A, MCCLELLAND R L, POLAK J F, et al. Cardiovascular imaging for assessing cardiovascular risk in asymptomatic men versus women: The multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA)[J]. *Circulation-Cardiovascular Imaging*, 2011, 4(1): 8-15.
- [5] 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]. *Medical Physics*, 2009, 36(11): 5079-5088.
- [6] BIELAK L F, KUFMANN R B, MOLL P P, et al. Small lesions in the heart identified at electron beam CT: Calcification or noise?[J]. *Radiology*, 1994, 192(3): 631-636.
- [7] PLETCHER M J, TICE J A, PIGNONE M, et al. Using the coronary artery calcium score to predict coronary heart disease events: A systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Intern Medicine*. 2004, 164(12): 1285-1292.
- [8] HECHT H S, CRONIN P, BLAHA M J, et al. 2016 SCCT/STR guidelines for coronary artery calcium scoring of noncontrast noncardiac chest CT scans: A report of the society of cardiovascular computed tomography and society of thoracic radiology[J]. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, 2017, 11(1): 74-84.

- [9] GRUNDY S M, CLEEMAN J I, MERZ C N, et al. Implications of recent clinical trials for the national cholesterol education program adult treatment panel III guidelines[J]. *Circulation*, 2004, 110(2): 227-239.
- [10] GREENLAND P, ALPERT J S, BELLER G A, et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: A report of the American college of cardiology foundation/American heart association task force on practice guidelines[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2010, 56(25): e50-e103.
- [11] TAYLOR A J, BINDEMAN J, FEUERSTEIN I, et al. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: Mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project[J]. *Journal of the American College of Cardiology*, 2005, 46(5): 807-814.
- [12] GREENLAND P, LABREE L, AZEN S P, et al. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals[J]. *The Journal of the American Medical Association*, 2004, 291(2): 210-215.
- [13] WILLIAMS K A SR, KIM J T, HOLOHAN K M. Frequency of unrecognized, unreported, or underreported coronary artery and cardiovascular calcification on noncardiac chest CT[J]. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*, 2013, 7(3): 167-172.
- [14] LESSMANN N, VAN GINNEKEN B, ZREIK M, et al. Automatic calcium scoring in low-dose chest CT using deep neural networks with dilated convolutions[J]. *IEEE Trans Medical Imaging*, 2018, 37(2): 615-625.
- [15] CHILES C, DUAN F, GLADISH G W, et al. Association of coronary artery calcification and mortality in the national lung screening trial: A comparison of three scoring methods[J]. *Radiology*, 2015, 276(1): 82-90.
- [16] HUGHES-AUSTIN J M, DOMINGUEZ A, ALLISON M A, et al. Relationship of coronary calcium on standard chest CT scans with mortality[J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9(2): 152-159.
- [17] HUANG Y L, WU F Z, WANG Y C, et al. Reliable categorisation of visual scoring of coronary artery calcification on low-dose CT for lung cancer screening: Validation with the standard Agatston score[J]. *European Radiology*, 2013, 23(5): 1226-1233.
- [18] WANG W, WANG H, CHEN Q, et al. Coronary artery calcium score quantification using a deep-learning algorithm[J]. *Clinical Radiology*, 2020, 75(3): 237. e11-237. e16.
- [19] 樊荣荣, 施晓雷, 钱懿, 等. 应用全模型迭代重组技术的非门控胸部低剂量 CT 平扫一站式筛查对冠状动脉钙化积分危险度分层的准确性评价[J]. *临床放射学杂志*, 2019, 38(3): 547-552.  
FAN R R, SHI X L, QIAN Y, et al. Assessment of the accuracy of risk stratification of coronary calcification by non-gated low-dose chest CT using IMR[J]. *Journal of Clinical Radiology*, 2019, 38(3): 547-552. (in Chinese).
- [20] 樊荣荣, 施晓雷, 范丽, 等. 低剂量胸部 CT 平扫评价冠状动脉钙化积分在心血管事件风险筛查中的应用及价值[J]. *中华健康管理学杂志*, 2018, 12(1): 71-75.  
FAN R R, SHI X L, FAN L, et al. Application and significance of coronary artery calcification score evaluated with low-dose chest computed tomography in cardiovascular risk screening[J]. *Chinese Journal of Health Management*, 2018, 12(1): 71-75. (in Chinese).
- [21] 中华医学会健康管理学分会, 中华医学会心血管病学分会, 中华医学会超声医学分会, 等. 中国体检人群心血管病危险因素筛查与管理专家共识[J]. *中华健康管理学杂志*, 2015, 9(6): 398-412.  
Chinese Medical Association Health management Branch, Chinese Medical Association cardiology branch, Chinese Medical Association ultrasound medicine branch, et al. Expert consensus on risk factors screening and management of cardiovascular diseases among Chinese physical examination population[J]. *Chinese Journal of Health Management*, 2015, 9(6): 398-412. (in Chinese).



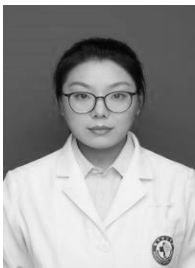
# Accuracy Evaluation of Coronary Artery Calcification Score Based on AI chest CT Plain Scan

CHEN Jie<sup>1</sup>, SUN Huili<sup>1</sup>, ZHANG Huan<sup>1</sup>, CUI Bin<sup>1</sup>,  
GUO Chao<sup>2</sup>, WU Xiaoyin<sup>2</sup>, GUO Ning<sup>2</sup>, WANG Zhiquan<sup>1</sup>✉

1. Department of Radiology, Aerospace Center Hospital (Clinical Medicine College of Peking University), Beijing 100049, China
2. ShuKun (Beijing) Network Technology Co., limited, Beijing 100102, China

**Abstract:** Objective: To explore the consistency of artificial intelligence-based non-gated low-dose CT (LDCT) plain scanning with ECG gated-CTA on risk stratification of coronary artery calcification score (CACS). Methods: A total of 100 patients with coronary artery CTA scan were analyzed retrospectively. All patients were selected for both coronary ECG gated-CTA scan and routine non-gated chest LDCT plain scan. Agatston calcification score software was applied to record ECG gated-CTA calcification score in Siemens post-processing workstation, and Shukun artificial intelligence analysis software was applied to record non-gated chest CT plain scan calcification score. With the original standard threshold, Kappa test was applied to stratify the risk of non-gated chest LDCT plain scan and ECG gated-CTA assessed CACS. The subject operating characteristic (ROC) curve was adopted to test the diagnostic efficacy of non-gated chest LDCT plain scan and to obtain the optimal new threshold value. The CACS value evaluated by the non-gated chest LDCT with the new threshold value and by ECG gated CTA with old threshold value were selected for further Kappa test. Pearson correlation of calcification integral between the two methods was compared.  $P < 0.001$  was set as statistically significant difference. Results: On non-gated chest LDCT plain scan, the risk of CACS was stratified according to the original threshold value, and it was consistent with the ECG-gated CACS value. Kappa value was 0.804 with  $P < 0.001$ . When comparing the non-gated chest with CACS measured by chest LDCT and that measured by ECG gated-CTA, The area under ROC curve (AUC) of low- medium risk group was 0.910 with  $P < 0.001$ , and the optimal diagnostic threshold was 112.35. The AUC of the medium-high risk group was 0.988 with  $P < 0.001$ , and the best diagnostic threshold was 398.31. Consistency test was performed on the risk stratification of CACS measured by non-gated chest LDCT plain scan according to the optimal diagnostic threshold, and the risk stratification of CACS measured with ECG-gated CTA scan according to the original threshold. The Kappa value was 0.850,  $P < 0.001$ . The Pearson correlation coefficient measured by the two methods was 0.985 and  $P < 0.001$ , showing a significant correlation. Conclusion: The evaluation of coronary artery calcification by non-gated CT scan based on artificial intelligence and ECG-gated CTA technology is highly consistent. In this study, a new standard for risk stratification of CACS values under non-gated conditions was established, which further improved the accuracy of CACS values evaluated by non-gated chest LDCT and contributed to the early detection of coronary heart disease.

**Keywords:** artificial intelligence; X-ray computed tomography; coronary artery calcium score



**作者简介:** 陈杰 (1986—), 女, 航天中心医院 (北京大学航天临床医学院) 影像科主治医师, 主要从事影像诊断, Tel: 18101036120, E-mail: chenjie4308808@163.com; 王志群<sup>✉</sup> (1975—), 男, 博士, 航天中心医院 (北京大学航天临床医学院) 影像科主任医师, 主要从事影像诊断研究, Tel: 59972387, E-mail: wangzhiquan@126.com。

## 《CT 理论与应用研究》投稿须知

作者投稿时若无专门说明，则表示作者和《CT 理论与应用研究》编辑部都公认：

1. 投稿稿件内容征得所有署名作者的认可，并征得作者单位同意投稿。投稿稿件为原创作品、无一稿两投。稿件中没有侵犯他人著作权或其他权利的内容。
2. 投稿作者保证稿件内容不涉及保密问题。凡涉密单位作者投的稿件，如作者单位为公安、军队等院校或科研单位，作者应提供稿件不涉密证明。
3. 稿件自确定发表之日起，除作者特别说明外，按惯例其专有出版权、汇编权、发行权和网络传播权即授予《CT 理论与应用研究》期刊，作者拥有论文著作权中的其他权利。

## 《CT 理论与应用研究》稿件要求

1. 所投稿件要求观点明确，论据可靠，层次分明，论述精练，语言准确，符合规范。
2. 缩写。外文缩写词必须符合国际规范，缩写在文中第一次出现时需要标明全称并说明中文含义。
3. 量、符号和单位，数值精度

期刊刊登论文中的量名称、量符号及其单位采用国家标准。量符号和代表变动性数字的符号，以及坐标轴的符号均排斜体；量符号的下标，属“变动性的”用斜体，其他情况用正体。量符号在文中首次出现时，必须给出其量名称及单位。向量、矩阵排黑斜体；张量排花斜体。单位名称及符号采用国际标准制，单位符号用正体。常用的数学符号（自然对数的底  $e$ ，圆周率  $\pi$ ，转置符号  $T$ ，微分符  $d$  等）排正体。文中提及的数值，除有特殊要求以外，一般精确到小数点后 3 位。

### 4. 图件

投稿稿件请附必要的图件。图件要求具有科学性，符合规范，清晰美观，能直接用于制版，图件的精度不小于 300 线。每幅图件注明唯一图号和图题，图题中英文对照，图号和图题在图的下方，用小五号宋体字。坐标轴以“量符号/单位”规范形式表示，如  $f/\text{Hz}$ ， $v/(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$ 。图中内容要用六号宋体字。对于涉及国界的图件，必须符合我国规定的地图出版要求。必要时可加图注，图注用六号宋体字。

### 5. 表格

采用三线表，必要时可加辅线。表号和表题置于表的上方（小五号宋体字），表题中英文对照。表中量和单位的标示形式同图（六号宋体字）。

图表一般直接列于文中，也可另附图片文件。

### 6. 数据统计和模拟

论文中凡涉及数理统计或模型模拟的内容，须给出统计检验。如：“本文的结果与文献[1]的相同/高/低”，应给出单一样本均值的检验；如涉及两个总体的均值比较问题，应给出独立样本或配对样本均值的检验。如：论文涉及回归模型，应给出模型和模型参数检验，以及模型的拟合优度。

### 7. 参考文献

投稿稿件遵循著作权法，凡引用他人资料、数据、方法、图表以及结果、结论的，必须注明出处，列出文献。参考文献的著录格式采用“顺序编码制”，著录格式详见“《CT 理论与应用研究》投稿样式”（可向编辑部索取）。

### 8. 其他

请提交论文研究工作的基金来源、编号，以及 200 字以内的第一作者和通信作者简介（见投稿样式）及 1 英寸照片。