

双层探测器光谱 CT 虚拟平扫评估冠状动脉钙化积分的可行性

杨盼盼¹ 陆璐² 盛茂² 李若梅² 张继² 蒋雨琦¹ 张新娜³,
邓炜³ 李裕国³ 安书田³ 赵韧⁴ 余永强³ 李小虎^{1,3}

摘要 目的 评价基于双层探测器光谱 CT (SDCT) 冠状动脉 CT 血管造影 (CCTA) 的虚拟平扫 (VNC) 图像对冠状动脉钙化积分 (CACS) 评估的准确性与可行性。方法 回顾性分析于医院行 CCTA 扫描的 197 例患者资料,对其中 CACS 大于 0 的 88 例患者作进一步分析。对非对比增强 (TNC)、VNC 图像的冠状动脉钙化积分 (CACS-TNC、CACS-VNC) 和

冠状动脉钙化体积 (CACV-TNC、CACV-VNC) 进行线性回归分析,得到线性方程及校正系数 λ_{1AVG} 、 λ_{2AVG} 。分别使用相应的回归方程校正 CACS-VNC、CACV-VNC 并记为 CCACS-VNC、CCACV-VNC。采用 Spearman 相关系数进行相关性分析并采用 Bland-Altman 图进行一致性检验。采用 Mann-Whitney *U* test 比较两组之间的差异。结果 对于总体冠状动脉而言,CACS-TNC 与 CACS-VNC ($r_s = 0.952, P < 0.001$), $\lambda_{1AVG} = 2.19$ 、CACV-TNC 与 CACV-VNC ($r_s = 0.954, P < 0.001$, $\lambda_{2AVG} = 1.93$) 的相关性极强。Mann-Whitney *U* test 分析显示 CACS-TNC 与 CCACS-VNC 及 CACV-TNC 与 CCACV-VNC 之间的差异无统计学意义,Bland-Altman 图显示 CACS-TNC 与 CCACS-VNC 及 CACV-TNC 与 CCACV-VNC 之间的一致性良好。结论 基于 SDCT 的 VNC 图像可以准确测量 CACS 并用于心血管风险分层,有望代替 TNC 扫描并降低患者的辐射剂量。

2023-02-11 接收

基金项目: 国家自然科学基金 (编号: 82071897)

作者单位: ¹ 安徽医科大学附属阜阳医院放射科, 阜阳 236000

² 合肥市第二人民医院 (安徽医科大学附属合肥医院) 放射科, 合肥 230011

安徽医科大学第一附属医院³ 放射科、⁴ 心血管内科, 合肥 230022

作者简介: 杨盼盼, 女, 硕士研究生;

李小虎, 男, 主任医师, 博士生导师, 责任作者, E-mail: lixiaohu@ahmu.edu.cn;

盛茂, 男, 主任医师, 责任作者, E-mail: maoshen.424@163.com

关键词 钙化积分; 冠状动脉疾病; 虚拟平扫

中图分类号 R 445.3

文献标志码 A 文章编号 1000-1492(2023)04-0692-06
doi: 10.19405/j.cnki.issn1000-1492.2023.04.029

retrospectively analyzed. The cycles were divided into 6 groups according to the indication for PGT-A, namely: recurrent pregnancy loss group ($n = 304$), repeated implantation failure group ($n = 57$), advanced age group (≥ 38 years old, $n = 80$), history of adverse pregnancy group (chorionic trisomy or adverse pregnancy, $n = 24$), male factor infertility group ($n = 67$), and abnormal sex chromosome number group ($n = 17$). The basic information, the number of retrieved oocytes, embryo biopsy result and pregnancy outcome were compared among different indication groups. **Results** The average age and days of gonadotropin (Gn) used among the six groups were statistically different ($P < 0.001$). The average number of retrieved oocytes, the rate of good-quality embryos, mosaic embryos, abnormal embryos and normal embryos, the average ovarian sensitivity index (OSI) among the six groups were statistically different ($P = 0.03$, $P < 0.001$, $P = 0.03$, $P < 0.001$, $P < 0.001$, $P < 0.001$). Advanced age group had the highest rate of abnormal embryos, the least average number of retrieved oocytes, the lowest OSI and the lowest rate of normal embryos. There were statistical differences in clinical pregnancy rate, ongoing pregnancy rate and cumulative pregnancy rate per oocyte retrieved cycle ($P < 0.001$) among the six groups, but there were no statistical differences in clinical pregnancy rate, ongoing pregnancy rate per transfer cycle and cumulative pregnancy rate among the five groups except for the male factor infertility group. **Conclusion** PGT-A can detect euploid embryo to transfer thereby improving pregnancy efficiency. The advanced age women have normal embryo to transfer and can obtain a better pregnancy rate, which may shorten their time of "take-baby-home". At the same time, PGT-A can significantly improve the pregnancy outcome of those with male factor infertility.

Key words assisted reproductive technology; preimplantation genetic testing for aneuploidy; advanced age; male factor infertility; pregnancy outcome

冠状动脉疾病(coronary artery disease , CAD) 是一类常见的心血管疾病, 近年来在发展中国家人群的发病率、病死率逐年升高^[1]。冠状动脉钙化积分(coronary artery calcium score , CACS) 已被证明可以有效地对不同种族的心血管风险进行分层^[2], 也是心血管事件一个强有力的预测指标^[3]。冠状动脉 CT 血管造影(coronary computed tomography angiography , CCTA) 是一种无创评估 CAD 的成像方式, 具有排除冠状动脉狭窄的能力和很强的阴性预测价值^[4]。双层探测器光谱 CT(dual-layer spectral detector computed tomography , SDCT) 利用不同物质对 X 射线的衰减不同从而区分碘和软组织, 从 CCTA 中获得虚拟平扫图像(virtual non-contrast , VNC) ^[5-6]。Gassert et al^[7] 研究表明利用 SDCT 的光谱成像技术得到的 VNC 图像去测量 CACS 是可行的, 且与传统技术的结果基本一致。但是既往研究对有效辐射剂量(effective dose , ED) 和 VNC 测量的 CACS 进行心血管风险分层的关注较少。该研究对基于 SDCT 的 VNC 图像评估 CACS 的准确性和可行性进行评价。

1 材料与方法

1.1 病例资料 回顾性分析合肥市第二人民医院 2021 年 2—7 月行 SDCT 检查的疑似 CAD 的 197 例患者资料, 年龄 16 ~ 88(59 ± 13) 岁, 其中男性 112 例(56.8%)。将常规非对比增强(true non-contrast , TNC) 图像中 CACS 为 0 的 109 例患者排除在外, 对剩余的 88 例患者作进一步的分析。88 例患者的年龄为 30 ~ 88(65 ± 11) 岁, 体质量指数为(27 ± 3) kg/m², 男性 52 例。其中 51 例患者有高血压病史, 4 例患者有高血脂病史, 22 例患者有糖尿病病史, 7 例患者有吸烟史。纳入标准: 接受 SDCT 扫描的疑似 CAD 患者, 图像采用回顾性心电门控技术扫描。排除标准: 结构性心脏病患者, 冠状动脉支架植入患者, 肾功能受损及对碘造影剂过敏的患者。本研究为回顾性分析, 经医院伦理委员会批准(编号: 2021034) 研究免除患者签署知情同意书。

1.2 CT 扫描和图像重建 扫描成像使用双层探测器光谱 CT 扫描仪(IQon spectral CT; 荷兰飞利浦医疗公司)。扫描参数: 管电压为 120 kVp, 管电流采用自动调制技术, 机架旋转时间为 0.27 s/周, 准直器宽度 64 × 0.625 mm, 矩阵 512 × 512。首先进行常规 TNC 扫描, 管电流范围是 50 ~ 70 mAs; 然后

进行回顾性心电门控 CCTA 扫描, 获取能量 CT 数据及常规 CCTA 数据, 管电流范围是 135 ~ 167 mAs。CCTA 扫描选择双筒高压注射器, 经右肘前静脉通路注入对比剂碘克沙醇(含碘 320 mg/ml, 南京正大天晴制药有限公司), 对比剂总量 50 ~ 65 ml, 注射速率每秒 4 ~ 5 ml, 之后以同等速率追加 40 ~ 50 ml 0.9% 氯化钠溶液。常规图像采用迭代重建算法(iDose-3) 进行重建。

1.3 图像的后处理与分析 使用 ISP 图像工作站(IntelliSpace Portal 10, 荷兰飞利浦医疗公司) 对扫描图像进行后处理及分析。VNC 图像由基于 CCTA 的光谱基数据(spectral base images , SBI) 生成, 层厚和层间距均为 2.5 mm。同一患者 TNC 和 VNC 的典型图例见图 1。以 TNC 图像测量的真实 CACS 作为参考标准。通过工作站半自动软件心脏钙化积分(heartbeat calcium scoring , HBCS) 用 Agatston 法计算得到总体冠状动脉与各个分支包括左冠状动脉主干(left main coronary artery , LM)、左前降支(left anterior descending , LAD)、左回旋支(left circumflex artery , LCX) 及右冠状动脉(right coronary artery , RCA) 的 CACS 和冠状动脉钙化体积(coronary artery calcium volume , CACV)。对 VNC 和 TNC 图像中总体冠状动脉的 CACS 与 CACV 及各个冠状动脉分支的 CACS 和 CACV 进行统计分析。由两位放射科医生(有 5 年以上放射科工作经验) 进行盲法评估。对 TNC 和 VNC 图像中总体冠状动脉的 CACS、CACV 分别进行线性回归分析, 得到线性回归方程及校正系数 λ_{1AVG} 和 λ_{2AVG} , 分别使用相应的线性回归方程对 CACS-VNC 进行校正, 分别记为校正后 VNC 的 CACS(corrected coronary artery calcium score , CCACS-VNC) 校正后 VNC 的 CACV(corrected coronary artery calcium volume , CCACV-VNC)。对 CACS-TNC 和 CCACS-VNC 进行心血管风险分层: 0(无风险)、1 ~ 100(低到中风险)、101 ~ 400(中风险) 及 400 以上(高风险)。

1.4 图像的信噪比和噪声 在 TNC 与 VNC 图像的升主动脉上绘制感兴趣区(region of interest , ROI) 以评价图像的信噪比(signal to noise ratio , SNR) 与噪声。图像的信噪比 SNR 使用 Szucs-Farkas et al^[8] 描述的方法计算。公式如下: $SNR = SI_{升主动脉} / 噪声$ 。升主动脉信号强度(signal intensity , SI) 为升主动脉血管内密度的平均值(HU)。噪声定义为升主动脉信号强度的标准差(standard deviation , SD)。



图1 SDCT 扫描获得的用于钙化评分的图像 ×2

A: 常规 TNC 图像; B: 同一患者同一层面的 CCTA 图像; C: 同一患者同一层面的 VNC 图像; 箭头: 指示 LM 存在钙化处

1.5 辐射剂量 分别记录 TNC 和 CCTA 扫描的容积 CT 剂量指数 (volume computed tomography dose index, CTDIvol)、剂量长度乘积 (dose length product, DLP) 及 ED。计算公式^[9]如下: $ED(mSv) = DLP \times k$ 其中 k 为胸部(心脏)有效剂量转换系数 $k = 0.014 mSv / (mGy \cdot cm)$ 。

1.6 统计学处理 使用 SPSS 26.0 软件及 Graph Pad Prism 9.0 软件进行统计学分析。采用 Kolmogorov Smirnov 检验计量资料是否为正态分布,符合正态分布的连续变量用 $\bar{x} \pm s$ 表示,不符合正态分布的连续变量用 $[M(Q1, Q3)]$ 表示。分类变量用频率或 % 表示。对 CACS-TNC 与 CACS-VNC、CACV-TNC 与 CACV-VNC 进行一元线性回归分析。CACS-TNC 与 CACS-VNC、CACV-TNC 与 CACV-VNC 的相关性分析和一致性检验分别采用 Spearman 相关系数与 Bland-Altman 图。相关性定义为: $0 \leq r_s < 0.30$ 可忽略相关性, $0.30 \leq r_s < 0.50$ 呈弱相关性, $0.50 \leq r_s < 0.70$ 呈中等相关性, $0.70 \leq r_s < 0.90$ 呈强相关性, $0.90 \leq r_s < 1.00$ 呈极强相关性^[10], $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。CACS-TNC 与 CCACS-VNC 的相关性和差异性分析分别采用 Spearman 相关系数和 Mann-Whitney U test,采用 Mann-Whitney U test 比较常规组 (CCTA 扫描和 TNC 扫描) 与 VNC 组 (CCTA 扫描) 的 ED 及 TNC 和 VNC 图像的 SD。采用配对 t 检验对 TNC 和 VNC 图像的 SNR 进行比较。采用 Cohen Kappa 检验比较 CACS-TNC 与 CCACS-VNC 在心血管风险分层中的一致性,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 常规 TNC 图像和 VNC 图像中 CACS 与 CACV 的比较 对于总体冠状动脉而言, CACS-TNC 为 111(41, 389), CACS-VNC 为 28(5, 108), 二

者的差异有统计学意义 ($P < 0.001$), 相关性分析 r_s 值为 0.952 ($P < 0.001$), 见图 2。CACV-TNC 为 107(38, 329), CACV-VNC 为 39(10, 106), 二者的差异有统计学意义 ($P < 0.001$), 相关性分析 r_s 值为 0.954 ($P < 0.001$), 见图 3。对于单支冠状动脉 (LM、LAD、LCX、RCA) 而言, CACS-TNC 与 CACS-VNC 的相关性分析 r_s 值分别为 0.782、0.878、0.875、0.848, CACV-TNC 与 CACV-VNC 的相关性分析 r_s 值分别为 0.730、0.890、0.888、0.814 均 $P < 0.001$ 。见表 1。

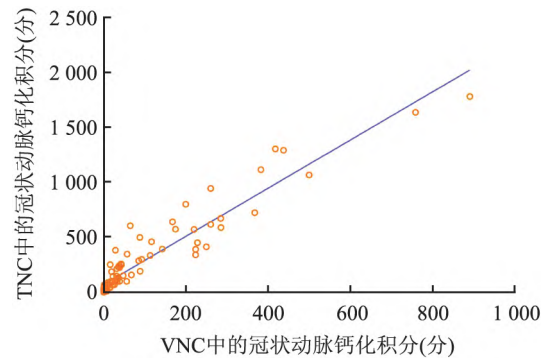


图2 真实 TNC 图像与 VNC 图像之间的总体冠状动脉钙化积分相关性分析结果

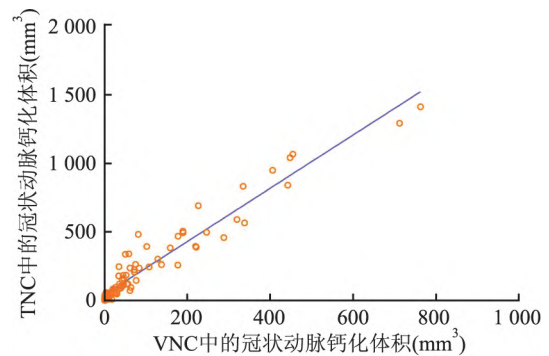


图3 真实 TNC 图像与 VNC 图像之间的总体冠状动脉钙化体积相关性分析结果

表1 TNC 与 VNC 图像中钙化积分的相关性、钙化体积的相关性 [M(Q1,Q3)]

组别	钙化积分(分)				钙化体积(mm ³)			
	TNC	VNC	r _s 值	P 值	TNC	VNC	r _s 值	P 值
总体冠状动脉	111(41,389)	28(5,108)	0.952	<0.001	107(38,329)	39(10,106)	0.954	<0.001
LM	41(18,127)	7(1,23)	0.782	<0.001	31(17,99)	10(3,27)	0.730	<0.001
LAD	96(36,205)	2(13,70)	0.878	<0.001	82(34,166)	25(7,64)	0.890	<0.001
LCX	43(14,110)	11(1,35)	0.875	<0.001	42(14,106)	15(4,51)	0.888	<0.001
RCA	59(17,164)	8(1,51)	0.848	<0.001	51(20,143)	14(2,59)	0.814	<0.001

CACS 与 CACV 的校正系数分别为 $\lambda_{1AVG} = 2.19$, $\lambda_{2AVG} = 1.93$ 线性回归方程分别为 $\hat{Y}_1 = 69.70 + 2.19X_1$, $\hat{Y}_2 = 44.35 + 1.93X_2$ 。应用 CACS 的线性回归方程之后,CCACS-VNC 为 131(81,306),与 CACS-TNC [111(41,389)] 之间的差异无统计学意义 ($P = 0.101$),相关性分析 r_s 值为 0.952。Bland-Altman 图显示 CACS-TNC 和 CCACS-VNC 的平均差异为 0.36(95% CI: -230.41 ~ 231.13),只有 8 例(9.1%)超出了 $(\bar{x} \pm 1.96s)$ 的范围,见图 4;应用 CACV 的线性回归方程之后,CCACV-VNC 为 120(63,249),与 CACV-TNC [107(38,329)] 之间差异无统计学意义 ($P = 0.123$),相关性分析 r_s 值为 0.954。CACV-TNC 和 CCACV-VNC 之间也存在良好的一致性,平均差异为 0.16(95% CI: -152.19 ~ 152.51),只有 5 例(5.7%)位于范围之外。见图 5。

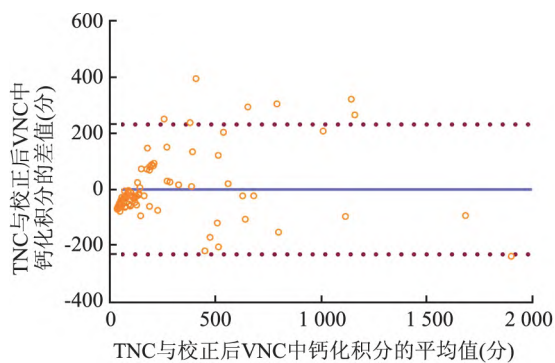


图4 真实 TNC 图像与使用线性回归方程校正后的 VNC 图像中钙化积分一致性的 Bland-Altman 图

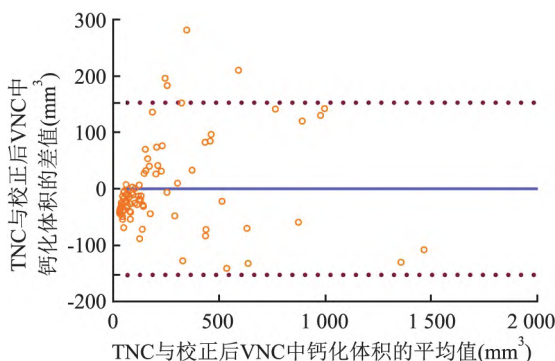


图5 真实 TNC 图像与使用线性回归方程校正后的 VNC 图像中钙化体积一致性的 Bland-Altman 图

2.2 CACS-TNC 与 CCACS-VNC 对于心血管风险分组的一致性 对初步纳入的 197 个病例(包括 CACS 为 0 的 109 例和 CACS 大于 0 的 88 例)使用 CACS 的线性回归方程对 CACS-VNC 进行校正,校正后的 CCACS-VNC 对心血管的风险分组与 CACS-TNC 相比,仅有 17 例(8.6%)产生了重新分组,并且均为相邻级别的再分组,没有出现跨分组的现象,见表 2。这两种方法对于心血管风险分组的一致性较高(Kappa 值为 0.862, $P < 0.001$)。对于无风险组,TNC 图像中 CACS 为 0 的患者,在 VNC 图像中也均为 0。

表2 TNC 与校正后 VNC 图像中 CACS 的心血管风险分层(n)

组别	CCACS-VNC				总体冠状动脉
	0	1~100	101~400	>400	
CACS-TNC					
0	109	0	0	0	109
1~100	0	31	12	0	43
101~400	0	0	23	2	25
>400	0	0	3	17	20
总体冠状动脉	109	31	38	19	197

2.3 图像质量 在 TNC 图像中,SNR 是 2.12(1.87,2.38),SD 为(19.80 ± 3.72)HU。对于 VNC 图像,SNR 是 3.91(3.29,4.59),SD 为(12.02 ± 2.29)HU。TNC 与 VNC 图像中 SNR 与 SD 之间的差异均有统计学意义($t = -19.973$, $P < 0.001$; $Z = -8.147$, $P < 0.001$)。

2.4 辐射剂量 TNC 图像中 CTDIvol 为 4.20(3.50,4.20),ED 为 0.69(0.67,0.81)。CCTA 图像中 CTDIvol 为 44.80(37.83,52.90),ED 为 8.47(7.08,10.58)。VNC 组的 ED 明显低于常规组的 ED,减少了 0.69 mSv(8.1%)的辐射剂量。

3 讨论

随着医学影像技术在心血管疾病中的广泛应用,当前已有多种影像学方法用来评估 CACS,其中最常用的方法是在 CCTA 扫描前进行常规的 TNC

扫描^[11],但该方法会增加患者的辐射剂量,因此寻找一种替代 TNC 扫描的方法是当前临床工作中急需解决的问题。本研究显示,不管是总体还是各个分支,CACS-TNC 与 CACS-VNC 及 CACV-TNC 与 CACV-VNC 之间的相关性都很高,但 TNC 中的 CACS 和 CACV 均高于 VNC 中的 CACS 和 CACV。通过使用总体冠状动脉钙化积分的线性回归方程 $\hat{Y}_1 = 69.70 + 2.19X_1$ 对 CACS-VNC 进行校正,CCACS-VNC 与 CACS-TNC 有很好的相关性($r_s = 0.952$, $P < 0.001$)和一致性,并且二者之间的差异没有统计学意义($P = 0.101$)。并且在 TNC 图像中 CACS 为 0 的 109 例患者在 VNC 图像中也均为 0,这表明 VNC 能够较准确测量 CACS。另外,CCACS-VNC 与 CACS-TNC 对心血管风险分层的一致性良好,这说明基于 VNC 图像的 CACS 校正后有望替代 TNC 并预测心血管事件的风险。

本研究证实了 VNC 测量 CACS 的准确性较高,与之前的研究结果基本一致^[12-13]。Gassert et al^[7]和 Nadjiri et al^[13]的研究也表明 TNC 测量的 CACS 高于 VNC 测量的 CACS,并分析 VNC 中 CACS 较低的原因可能是低估了斑块体积、某些斑块将被排除在自动分析之外。除了探讨 VNC 测量 CACS 的准确性和可行性,本研究也对 TNC 与 VNC 的辐射剂量和心血管风险分层作了比较,是被既往研究忽略的一个创新点。

CACS 的测量是 CAD 患者的重要预后因素,并且 CACS 可以有效地对不同种族的心血管风险进行分层并预测未来的心血管事件。CACS 为 0 可以作为一个可靠的负风险指标,相比之下,极高的 CACS (≥ 1000)与冠状动脉粥样硬化性心脏病、其他心血管疾病、癌症的死亡风险增加有关^[2]。另外,有研究提示高血压患者更易形成冠状动脉斑块^[14]。因此测量 CACS 并进行风险分层是极为重要的。本研究使用 CACS 的线性回归方程对 CACS-VNC 进行校正之后,CACS-TNC 与 CCACS-VNC 对评估心血管风险分层具有很高的一致性($Kappa$ 值 0.862)。对于无风险组,TNC 图像中 CACS 为 0 的患者,在 VNC 图像中也均为 0,除此之外,VNC 图像中也存在 TNC 图像中出现的微量冠状动脉钙化,说明 VNC 图像测量 CACS 的准确性较高,有望替代 TNC 图像去测量 CACS 并进行心血管风险分层,从而对于不同风险的患者进行相应的药物治疗和其他的早期干预。

另外,本研究使用相应的线性回归方程来校正

VNC 测得的 CACS 及 CACV,并得到校正系数。CACS 的校正系数为 2.19,与以往研究^[13,15]报告的系数略有不同,说明校正系数的选择仍需进一步的研究探讨。另外,本研究还对 TNC 与 VNC 图像中的辐射剂量作了比较,VNC 组的 ED 明显低于常规组的 ED,减少了 0.69 mSv (8.1%)的辐射剂量,与以往研究结果的一致性较好^[7,15]。本研究还证明,与 TNC 图像相比,VNC 图像的 SNR 升高、SD 降低,图像质量得到了明显的改善,与先前的研究结果一致^[12-13]。

本研究的局限性如下:首先,本研究是单中心的,样本量较小,后期的研究需要扩大样本量;其次,本研究的参考标准是 TNC 图像,没有使用组织病理学数据作为参考标准;另外,仅采用 Agatston 方法计算 CACS,未采用其他方法如质量积分或体积积分法计算 CACS。

参考文献

- [1] Shao C, Wang J, Tian J, et al. Coronary artery disease: from mechanism to clinical practice [J]. Adv Exp Med Biol, 2020, 1177: 1-36.
- [2] Adelhoefer S, Uddin S, Osei A D, et al. Coronary artery calcium scoring: new insights into clinical interpretation-lessons from the CAC consortium [J]. Radiol Cardiothorac Imaging, 2020, 2(6): e200281.
- [3] Criqui M H, Knox J B, Denenberg J O, et al. Coronary artery calcium volume and density: Potential interactions and overall predictive value: the multi-ethnic study of atherosclerosis [J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2017, 10(8): 845-54.
- [4] Baessato F, Guglielmo M, Muscogiuri G, et al. The incremental role of coronary computed tomography in chronic coronary syndromes [J]. J Clin Med, 2020, 9(12): 3925.
- [5] Rassouli N, Etesami M, Dhanantwari A, et al. Detector-based spectral CT with a novel dual-layer technology: principles and applications [J]. Insights Imaging, 2017, 8(6): 589-98.
- [6] 中华医学会放射学分会,中国医师协会放射医师分会,安徽省影像临床医学研究中心. 能量 CT 临床应用中国专家共识 [J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(5): 476-87.
- [7] Gassert F G, Schacky C E, Muller-Leisse C, et al. Calcium scoring using virtual non-contrast images from a dual-layer spectral detector CT: comparison to true non-contrast data and evaluation of proportionality factor in a large patient collective [J]. Eur Radiol, 2021, 31(8): 6193-9.
- [8] Szucs-Farkas Z, Kurmann L, Strautz T, et al. Patient exposure and image quality of low-dose pulmonary computed tomography angiography: comparison of 100- and 80-kVp protocols [J]. Invest Radiol, 2008, 43(12): 871-6.

- [9] Ghadri J R , Kuest S M , Goetti R , et al. Image quality and radiation dose comparison of prospectively triggered low-dose CCTA: 128-slice dual-source high-pitch spiral versus 64-slice single-source sequential acquisition [J]. *Int J Cardiovasc Imaging* , 2012 , 28(5) : 1217 – 25.
- [10] Mukaka M M. Statistics corner: a guide to appropriate use of correlation coefficient in medical research [J]. *Malawi Med* , 2012 , 24(3) : 69 – 71.
- [11] Simon J , Szaraz L , Szilveszter B , et al. Calcium scoring: a personalized probability assessment predicts the need for additional or alternative testing to coronary CT angiography [J]. *Eur Radiol* , 2020 , 30(10) : 5499 – 506.
- [12] Yamada Y , Jinzaki M , Okamura T , et al. Feasibility of coronary artery calcium scoring on virtual unenhanced images derived from single-source fast kVp-switching dual-energy coronary CT angiography [J]. *J Cardiovasc Comput Tomogr* , 2014 , 8(5) : 391 – 400.
- [13] Nadjiri J , Kaissis G , Meurer F , et al. Accuracy of calcium scoring calculated from contrast-enhanced coronary computed tomography angiography using a dual-layer spectral CT: a comparison of calcium scoring from real and virtual non-contrast data [J]. *PLoS One* , 2018 , 13(12) : e208588.
- [14] 王贤进,王视青,陈群,等. 单支临界冠状动脉病变斑块性质的危险因素分析[J]. *安徽医科大学学报* , 2017 , 52(10) : 1540 – 5.
- [15] 陈文萍,尹克杰,李茗,等. 利用虚拟平扫降低冠状动脉CT血管造影辐射剂量的可行性研究[J]. *中华放射医学与防护杂志* , 2022 , 42(1) : 61 – 6.

Feasibility of evaluating coronary artery calcium score on virtual non-contrast scan in dual-layer spectral detector CT

Yang Panpan¹ , Lu Lu² , Sheng Mao² , Li Ruomei² , Zhang Ji² , Jiang Yuqi¹ , Zhang Xinna³ , Deng Wei³ ,
Li Yuguo³ , An Shutian³ , Zhao Ren⁴ , Yu Yongqiang³ , Li Xiaohu^{1,3}

(¹*Dept of Radiology , Fuyang Hospital of Anhui Medical University , Fuyang 236000;* ²*Dept of Radiology , The Second People's Hospital of Hefei Hefei Hospital of Anhui Medical University , Hefei 230011;*

³*Dept of Radiology ,* ⁴*Dept of Cardiology , The First Affiliated Hospital of Anhui Medical University , Hefei 230022)*

Abstract Objective To evaluate the accuracy and feasibility of coronary artery calcium score (CACS) on virtual non-contrast scan (VNC) images obtained from coronary artery CT angiography (CCTA) scan with dual – layer spectral detector CT (SDCT) . **Methods** The data of 197 patients who underwent CCTA scan in hospital were analyzed retrospectively , and 88 patients with CACS >0 were further analyzed. Linear regression analysis of CACS and coronary artery calcium volume (CACV) of true non-contrast (TNC) images and VNC images (CACS-TNC , CACS-VNC , CACV-TNC , CACV-VNC) was performed to obtain linear regression equation and correction coefficients λ_{1AVG} and λ_{2AVG} . CACS-VNC and CACV-VNC were corrected by the corresponding regression equation and recorded as CCACS-VNC and CCACV-VNC , respectively. Spearman correlation coefficient was used for correlation analysis and Bland-Altman plot was used for consistency test. Mann-Whitney *U* test was used to compare the difference between the two groups. **Results** For the total coronary artery , there was a strong correlation between CACS-TNC and CACS-VNC ($r_s = 0.952$, $P < 0.001$, $\lambda_{1AVG} = 2.19$) , CACV-TNC and CACV-VNC ($r_s = 0.954$, $P < 0.001$, $\lambda_{2AVG} = 1.93$) . The results of Mann-Whitney *U* test showed that there was no significant difference between CACS-TNC and CCACS-VNC or between CACV-TNC and CCACV-VNC , and the Bland-Altman plot showed good consistency between CACS-TNC and CCACS-VNC , CACV-TNC and CCACV-VNC. **Conclusion** VNC images based on SDCT can accurately measure CACS and be used for cardiovascular risk classification , which is expected to replace TNC scan and reduce the radiation dose of patients.

Key words calcium score; coronary artery disease; virtual non-contrast