

## 论 著

## 不同管电压下低造影对比剂用于冠状动脉血管成像的效果比较\*

曹俊<sup>1</sup> 易兰<sup>2</sup> 晏育武<sup>2\*</sup>

1.江门市中心医院医学影像科

2.江门市中心医院肿瘤科 (广东江门 529000)

**【摘要】目的** 探究冠状动脉血管成像检查中应用不同管电压下低造影对比剂的价值。**方法** 研究年限范围为2024年1月至2024年12月期间,选120例在本院救治的疑似冠心病患者研究,均在低电压(70kVp)、常规电压(100kVp)下实施冠状动脉血管成像(CTA)检查,以冠脉造影结果为金标准,对2组检出情况、图像质量、检查结果、辐射剂量进行比较。**结果** 以冠脉造影结果为金标准,低电压检出真阳57例、常规电压检出真阳性59例,低电压检查准确率、灵敏度、特异度与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );低电压组图像质量与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );低电压组右冠状动脉、前降支、回旋支CT值、SD值高于常规电压组, $P<0.05$ ;低电压组右冠状动脉、前降支、回旋支SNR、CNR与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ );低电压组CTDIvol、ED低于常规电压组, $P<0.05$ 。**结论** 冠状动脉血管成像检查中应用不同管电压下低造影对比剂均有一定价值,但70kVp下进行检查可减少对比剂剂量,降低辐射,值得临床进一步研究与借鉴。

**【关键词】** 管电压;低造影对比剂;冠状动脉血管成像;右冠状动脉;前降支;回旋支

【中图分类号】R541.4

【文献标识码】A

**【基金项目】** 2022年度广东省医学科研基金立项项目(B2022047);江门市卫生健康局科学技术研究项目(22A004)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.026

## Comparison of the Effectiveness of Low Contrast Agents for Coronary Artery Imaging Under Different Tube Voltages\*

CAO Jun<sup>1</sup>, YI Lan<sup>2</sup>, YAN Yu-wu<sup>2\*</sup>.

1. Department of Medical Imaging, Jiangmen Central Hospital, Jiangmen 529000, Guangdong Province, China

2. Department of Oncology, Jiangmen Central Hospital, Jiangmen 529000, Guangdong Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To explore the value of using low contrast agents under different tube voltages in coronary angiography. **Methods** During the period of January to December 2024, 120 suspected coronary heart disease patients treated in our hospital were selected for the study. Coronary angiography (CTA) examinations were performed under low voltage (70kVp) and conventional voltage (100kVp). Coronary angiography results were used as the gold standard to compare the detection status, image quality, examination results, and radiation dose between the two groups. **Results** Using coronary angiography as the gold standard, 57 cases were true positive detected by low voltage and 59 cases were true positive detected by conventional voltage. The accuracy, sensitivity, and specificity of low voltage examination were not significantly different from those of the conventional voltage group ( $P>0.05$ ); There was no statistically significant difference in image quality between the low voltage group and the conventional voltage group ( $P>0.05$ ); The CT and SD values of the right coronary artery, anterior descending artery, and circumflex artery in the low voltage group were higher than those in the conventional voltage group,  $P<0.05$ ; There was no statistically significant difference in SNR and CNR of the right coronary artery, anterior descending artery, and circumflex artery between the low voltage group and the conventional voltage group ( $P>0.05$ ); The CTDIvol and ED of the low voltage group are lower than those of the conventional voltage group,  $P<0.05$ . **Conclusion** The use of low contrast agents under different tube voltages in coronary angiography has certain value, but examination at 70kVp can reduce contrast agent dose and radiation, which is worthy of further clinical research and reference.

**Keywords:** tube voltage; Low contrast agent; Coronary artery angiography; Right coronary artery; Front descending support; LCx

冠心病是心血管疾病中重要类型之一,具有发病隐匿、进展迅速的特征,若未及时发现并进行干预可对机体健康状态及生活质量产生影响<sup>[1]</sup>。随着医学影像技术不断发展,冠状动脉CT血管成像(CTA)通过评估冠状动脉解剖结构和功能状态,可为冠心病的诊断、治疗和预后提供重要依据,但具体检查过程中涉及辐射剂量和造影对比剂用量,其中高辐射剂量可能增加患者罹患恶性肿瘤风险,而高浓度造影对比剂则可能引发一系列不良反应,因此如何在保证图像质量前提下,降低辐射剂量和造影对比剂用量,成为当前医学影像领域研究热点<sup>[2]</sup>。近年来低管电压扫描和低浓度造影对比剂应用逐渐受到重视,鉴于此本文选取2024年1月至2024年12月本院收治的疑似冠心病患者120例研究,旨在探讨不同管电压下低造影对比剂用于冠状动脉血管成像效果,以期临床提供更加安全、有效检查方法,报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究时间段限于2024年1月至2024年12月期间,样本容量总计占120例,均为在本院就诊的疑似冠心病患者。患者均在低电压(70kVp)、常规电压(100kVp)下实施冠状动脉血管成像(CTA)检查,其中男、女例数为42、78,年龄区间48~76岁,得均数( $61.24\pm 2.16$ )岁;心率68~78次/min,均值( $72.14\pm 1.61$ )次/min; BMI  $18\sim 25\text{kg/m}^2$ ,均值( $23.46\pm 1.46$ ) $\text{kg/m}^2$ ;本研究上报医院伦理委员会并获得审批通过。

**纳入标准:** (1)均在1周内完成低电压、常规电压CTA检查;(2)存在心绞痛、胸骨不适等症状;(3)患者及家属均知情本研究且签署知情同意书;(4)研究所需各项资料齐全。排除标准:(1)妊娠期及哺乳期;(2)不愿参与本次研究;(3)对碘对比剂过敏;(4)冠脉搭桥术后;(5)屏气不佳;(6)肝肾功能不全。

**1.2 方法** 纳入研究120例患者均在1周内完成低电压(70kVp)、常规电压(100kVp)下CTA检查。

**扫描方案:** 常规电压组扫描方案为100 kVp,对比剂为碘普罗胺[拜耳医药保健有限公司广州分公司,国药准字J20180039,50mL:31.17g(I)]1瓶,注射流速为5.0 mL/s;低电压组扫描方案为70 kVp,对比剂为碘美普尔[Patheon Italia S.P.A.,国药准字J20140040,50mL:12.5 g (I)]1瓶,注射流速为5.0 mL/s,随后均以5.0 mL/s的流速注入生理盐水30mL。

**扫描方法:** 扫描设备为西门子双源CT机,各种管电压下均采用CARE Dose4D模式调节管电流,120例患者均行前瞻性心电触发序列扫描。患者扫描前均未服用降心率药物并

【第一作者】曹俊,男,主管技师,主要研究方向:医学影像。E-mail: 1251299822@qq.com

【通讯作者】晏育武,男,主管技师,主要研究方向:肿瘤。E-mail: 402819639@qq.com

进行严格的呼吸训练,扫描前5 min舌下喷服硝酸甘油。扫描时患者取仰卧位,扫描范围为气管分叉下方1 cm至心脏膈面,采用对比剂自动跟踪触发技术,在主动脉根部感兴趣区监测CT值,设置触发阈值为100 HU,当达到该阈值时,机器延迟6 s后自动扫描,机架旋转时间为每周0.33s。全剂量曝光时间在70%R-R间期,余R-R间期20%剂量曝光。扫描结束后对图像进行重组。

**1.3 观察指标** (1)检出情况,对比不同电压下检出情况、准确率、灵敏度、特异度。(2)图像质量,采用美国心脏协会制定的标准将图像质量分为4级,分值1~4分,得分越高图像质量越差。(3)检查结果,对比不同电压下右冠状动脉、前降支、回旋支的CT值、SD值、SNR、CNR。(4)辐射剂量,对比不同电压下CTDIvol、ED。

**1.4 统计学方法** 数据解析与统计任务借助SPSS软件高效完成。对于连续性计量资料采用均值±标准差形式来描绘其特征,比较时则运用独立样本t检验的方法;分类计数资料以百分比或构成比呈现,统计分析则依赖于卡方检验或是Fisher精确概率法,并以P

值小于0.05作为判定差异具备统计学意义的显著标准。

## 2 结果

**2.1 检出情况及诊断效能** 以冠脉造影结果为金标准,低电压检出真阳57例、常规电压检出真阳性59例,低电压检查准确率、灵敏度、特异度与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表1。

**2.2 图像质量比较** 低电压组图像质量与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表2。

**2.3 检查结果比较** 低电压组右冠状动脉、前降支、回旋支CT值、SD值高于常规电压组, $P<0.05$ ;低电压组右冠状动脉、前降支、回旋支SNR、CNR与常规电压组比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表3。

**2.4 辐射剂量比较** 低电压组CTDIvol、ED低于常规电压组, $P<0.05$ 。见表4。

表1 检出情况及诊断效能(n%)

冠脉造影结果		低电压		常规电压	
		阳性	阴性	阳性	阴性
阳性	61	57	4	59	2
阴性	59	3	56	2	58
合计	120	0	60	60	60

续表1

组别	灵敏度	特异度	准确率
低电压	93.44%(57/61)	94.92%(56/59)	94.17%(113/120)
常规电压	96.72%(59/61)	98.31%(58/59)	96.67%(116/120)
$\chi^2$ 值	0.701	1.035	0.858
P值	0.402	0.309	0.354

表2 图像质量比较(分)

组别	1分	2分	3分	4分	得分
低电压	30(49.18)	20(32.79)	8(13.11)	3(4.92)	1.18±0.14
常规电压	31(50.82)	21(34.43)	7(11.48)	2(3.28)	1.21±0.14
$\chi^2/t$ 值	0.307				1.271
P值	0.959				0.206

表4 辐射剂量比较

组别	CTDIvol(mGy)	ED(mSv)
低电压	15.61±2.02	4.11±0.28
常规电压	28.64±3.61	7.51±0.42
t值	24.601	52.607
P值	<0.001	<0.001

表3 检查结果比较

组别	例数	CT值(HU)			SD值		
		右冠状动脉	前降支	回旋支	右冠状动脉	前降支	回旋支
低电压	61	611.42±56.61	575.72±42.62	582.42±55.42	29.94±5.15	34.62±6.66	30.92±6.26
常规电压	61	526.31±54.14	481.62±54.42	501.42±55.16	26.31±8.26	29.52±4.16	25.81±4.16
t值	--	8.486	10.632	8.091	2.912	5.072	5.310
P值	--	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	<0.001	<0.001

续表3

组别	例数	SNR			CNR		
		右冠状动脉	前降支	回旋支	右冠状动脉	前降支	回旋支
低电压	61	26.82±4.14	16.42±6.22	21.61±9.94	2.31±1.21	2.51±0.89	1.88±0.52
常规电压	61	26.84±4.16	16.58±2.16	20.42±8.19	1.99±1.05	2.48±0.72	1.91±0.46
t值	--	0.027	0.190	0.722	1.560	0.205	0.337
P值	--	0.979	0.949	0.472	0.121	0.838	0.736

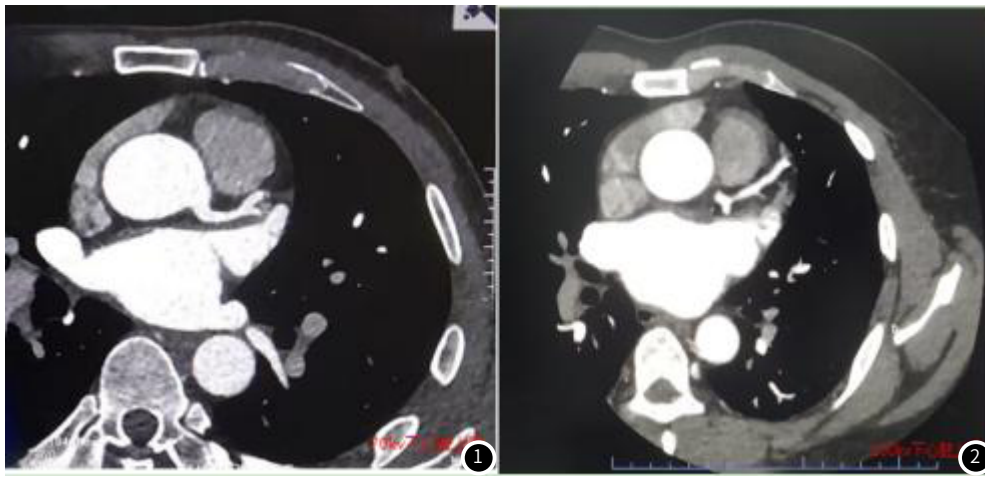


图1 男, 48岁, 72KG, 心率68次/min常规电压CT对比剂造影图像显示左冠状动脉主干起始部显示清晰。  
图2 男, 51岁, 70KG, 心率72次/min低电压CT对比剂造影图像显示左冠状动脉主干起始部显示清晰。

### 3 讨论

CT扫描技术目前已经成为评估冠状动脉的关键方案, 其整体应用效果接近心血管造影, 且成为心血管造影的替代方案, 然而在临床要求诊断精准度与图像清晰度高标准下多存在着辐射剂量高的问题, 无疑对患者健康状态产生影响<sup>[3]</sup>。CTA作为辐射剂量相对较高的CT检查项目, 有数据显示每接受1mSv辐射个体患癌风险增加0.005%, 鉴于此在确保图像质量不受影响前提下寻求辐射剂量最小化显得尤为重要<sup>[4]</sup>。此外高剂量对比剂虽然能够显著提升CTA图像清晰程度, 但可对患者肾脏功能构成威胁, 然而盲目减少对比剂用量、电压方式可行性不高, 考虑是过少对比剂、过低电压会导致冠状动脉远端及细小分支在图像中模糊不清, 影响诊断准确率, 为此一种更为科学平衡方案被应用于临床, 即在适度减少对比剂总量、减轻电压的同时, 加快注射速度, 以此延长碘剂在血管腔内有效浓度时间, 确保血管结构连续性与清晰度得到展现<sup>[5-7]</sup>。

本研究显示, 以冠脉造影结果为金标准, 低电压检出真阳57例、常规电压检出真阳性59例, 低电压检查准确率、灵敏度、特异度、图像质量与常规电压组比较, 差异无统计学意义( $P>0.05$ ), 证实冠状动脉血管成像检查中应用低电压、常规电压可获得接近效果, 分析原因是第一低电压扫描时X射线平均光子能量更接近碘的K边能量(33 keV), 使得碘对比剂对比度显著增强, 在低电压下较少碘剂量即可获得与常规电压相似血管对比增强效果。低电压扫描通常可以减少对比剂使用量, 同时保持良好, 图像对比度, 可应用于肾功能不全或对比剂过敏患者<sup>[8]</sup>。第二低电压扫描时由于X射线光子数量减少, 图像噪声会增加, 然而现代成像技术可以有效降低噪声, 同时保持图像质量, 见图1、2; IMR等新技术可以在低电压条件下显著降低图像噪声, 同时保持或改善图像质量, 使得低电压扫描在图像质量上能够接近常规电压扫描<sup>[9-10]</sup>。第三低电压CTA在诊断冠状动脉疾病时表现出较高诊断准确性, 使用70 kVp和100 kVp电压扫描结合迭代重建技术, 其敏感性、特异性与常规电压扫描相当<sup>[11]</sup>。

本研究显示, 低电压组右冠状动脉、前降支、回旋支CT值、SD值高于常规电压组, CTDIvol、ED低于常规电压组,  $P<0.05$ , 证实冠状动脉血管成像检查中应用低电压可减轻辐射, 分析原因是: 第一, CT值升高源于X射线能谱变化导致对比度增强效应, 根据光电效应和康普顿散射的相对贡献规律, 当管电压

降低时X射线能谱向低能端移动, 光电效应占比增加。碘的K缘为33.2 keV, 在70-100 kVp能谱范围内恰好处于光电效应敏感区间, 使得碘对比剂X线吸收率显著提升, 这种效应在冠状动脉血管壁与对比剂填充管腔之间产生更高CT值差异, 表现为RCA、LAD、LCXCT值测量值升高<sup>[12]</sup>。第二, 噪声水平增加(表现为SD值升高)主要受三个因素影响, 即: ①低能X射线穿透力减弱导致到达探测器光子数量减少, 量子噪声增加; ②能谱硬化效应减弱使得beam hardening artifact更明显; ③迭代重建算法在低剂量条件下为保持图像信噪比会保留更多高频噪声成分, 虽然绝对噪声增加但由于对比度提升幅度更大, 最终图像SNR、CNR仍可能维持在诊断可接受范围<sup>[13]</sup>。第三, CTDIvol和ED是衡量辐射剂量重要指标, 低电压扫描时由于X射线能量较低, 单位时间内产生辐射剂量显著减少。低电压扫描在显著降低辐射剂量同时仍然能够提供高质量图像, 对于需要多次检查患者(如冠心病的随访患者)或对辐射敏感患者(如年轻患者、孕妇等)具有重要临床意义<sup>[14-15]</sup>。第四, 低电压扫描时X射线光子能量较低, 光子数量相对减少, 导致图像噪声水平增加, 尽管低电压扫描噪声增加, 但现代成像技术可以在一定程度上降低噪声, 改善图像质量。第五, 低电压扫描时X射线的平均能量更接近碘的K边能量(33 keV), 在这种情况下碘对比剂对X射线吸收增强, 从而在CT图像上表现为更高CT值; 低电压扫描通常可以使用更少碘对比剂剂量, 同时获得与常规电压相似或更高CT值, 主要是低电压下碘对比剂对比度增强, 使得较少对比剂就能达到良好显影效果。低电压扫描时X射线能量较低, 更容易被软组织吸收, 冠状动脉血管壁和其他软组织吸收增加, 使得血管内碘对比剂与周围组织对比度进一步提高, 从而出现CT值升高的情况<sup>[16-18]</sup>。

综上所述, 冠状动脉血管成像检查中应用不同管电压下低造影对比剂均有一定价值, 但70 kVp电压下进行扫描可减轻辐射剂量, 减轻对机体损伤, 但具体实施中该方案纳入对比指标少, 且未就多种电压状态下扫描结果进行对比分析, 导致研究结果存在偏倚性, 因此后期需要对整体研究方案进行优化及完善, 在增加对比剂量、样本例数的同时, 就各个方案的应用价值进行对比分析, 旨在为临床诊断冠脉病变提供参考。

