

论 著

IQon光谱CT技术在冠脉狭窄诊断中的应用价值*

王常雨* 陈新晖 刘迎强
平煤神马医疗集团总医院放射科
(河南 平顶山 467000)

【摘要】目的 分析IQon光谱CT技术在冠脉狭窄诊断中的应用价值。方法 选取本院82例疑似冠心病患者，均接受IQon光谱CT及冠状动脉造影(CAG)检查，以CAG诊断结果为“金标准”，比较不同狭窄程度冠脉碘密度图，分析IQon光谱CT技术对冠脉狭窄诊断准确率。结果 82例患者总共评估了417个冠状动脉节段，CAG检查出无狭窄115个，狭窄302个(包括轻度62个，中度68个，重度172个)；不同狭窄程度冠脉碘密度图比较有统计学意义($P<0.05$)；IQon光谱CT诊断冠脉狭窄敏感度92.38%，特异度90.43%，准确率91.85%，Kappa值0.802；IQon光谱CT诊断重度狭窄敏感度97.09%，特异度99.59%，准确率98.56%，Kappa值0.970，诊断中度狭窄敏感度88.24%，特异度97.71%，准确率96.16%，Kappa值0.859，诊断轻度狭窄敏感度72.58%，特异度97.46%，准确率93.76%，Kappa值0.740。结论 IQon光谱CT技术对冠脉狭窄程度具有较高诊断价值。

【关键词】冠状动脉狭窄；光谱CT；
冠状动脉造影；诊断
【中图分类号】R543.3
【文献标识码】A
【基金项目】1.中国平煤神马集团科研立项课题
项目(41040220231483vG)；
2.2023年度河南省医学科技攻关计划
项目(LHGJ20230850)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.028

Application Value of IQon Spectral CT in the Diagnosis of Coronary Artery Stenosis*

WANG Chang-yu*, CHEN Xin-hui, LIU Ying-qiang.
Department of Radiology, General Hospital of Pingmei Shenma Group, Pingdingshan
467000, Henan Province, China

ABSTRACT
Objective To analyze the application value of IQon spectral CT in the diagnosis of coronary artery stenosis.
Methods 82 patients suspected of coronary heart disease were selected, and examined with IQon spectral CT and coronary angiography (CAG). With the diagnostic results of CAG as the gold standard, iodine density maps of coronary arteries with different degrees of stenoses were compared, and the accuracy of IQon spectral CT in diagnosing coronary artery stenosis was analyzed. **Results** A total of 417 coronary artery segments were evaluated. CAG found 115 without stenosis and 302 with stenosis, including 62 with mild stenosis, 68 with moderate stenosis and 172 with severe stenosis. There were statistically significant differences in iodine density maps of coronary arteries with different degrees of stenoses ($P<0.05$). The sensitivity, specificity, accuracy, and Kappa value of IQon spectral CT for diagnosing coronary artery stenosis were 92.38%, 90.43%, 91.85%, and 0.802, respectively. For diagnosing severe stenosis, the sensitivity, specificity, accuracy, and Kappa value were 97.09%, 99.59%, 98.56%, and 0.970, respectively. For diagnosing moderate stenosis, the sensitivity, specificity, accuracy, and Kappa value were 88.24%, 97.71%, 96.16%, and 0.859, respectively. For diagnosing mild stenosis, the sensitivity, specificity, accuracy, and Kappa value were 72.58%, 97.46%, 93.76%, and 0.740, respectively. **Conclusion** IQon spectral CT is of high value in diagnosing the degree of coronary artery stenosis.
Keywords: Coronary Artery Stenosis; Spectral CT; Coronary Angiography; Diagnosis

冠状动脉疾病(coronary Artery Disease, CAD)属于严重威胁全球范围内人类健康主要病患，冠脉粥样硬化为其主要病理特征，硬化斑块能够造成冠状动脉狭窄，引起心肌缺氧缺血以及心肌梗死。有调查显示，CAD临床发病率具有逐年升高趋势，患者病死风险高^[1-2]。临床早期诊断冠心病，予以及时干预治疗，对改善患者预后具有积极意义。虽然冠状动脉造影(coronary artery angiography, CAG)检查技术时间与空间分辨率非常好，被认为是CAD临床诊断“金标准”，然而其属于有创检查方式，存在一定并发症风险，患者可接受性不高^[3]。现阶段，临床更多采取冠脉CT血管造影方式筛查CAD，但是该检查手段辐射剂量问题受到了人们广泛关注。IQon光谱CT选择双层探测器设计手段，于探测器层面分离并且解析单球管单一千伏形成的高低能量，对相关数据进行同时、同源以及同向采集，并生成常规图像以及能谱图像，对于能谱图像，主要包括单能MononE图、有效原子序数(effective atomic number, Z-Eff)图与无水碘密度图^[4-5]。当前，国内关于IQon光谱CT技术用于冠脉狭窄检查的报道鲜少。本文以此为创新点，分析了IQon光谱CT技术在冠脉狭窄诊断中的应用价值，以期对冠脉狭窄更好诊治提供一定参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取本院2022年3月至2023年2月82例疑似冠心病患者资料进行回顾性分析。
纳入标准：≥18岁；入院前存在胸痛、心悸以及胸闷史，疑似冠心病；具有完整IQon光谱CT及CAG检查资料，且二者间隔不超过14d。排除标准：合并肾功能障碍(肌酐清除率不足60mL/min/1.73m²)或者甲状腺功能障碍等；冠脉搭桥术后患者；无法配合屏气完成光谱CT检查；过敏体质者；临床资料缺失。包括男性48例，女性34例，患者年龄36~78岁，平均(54.19±10.38)岁。
1.2 方法 CAG检查：通过血管造影机(型号：西门子1200A)完成该项检查。指导患者处于平卧位，以1%利多卡因(国药准字：H11020322，厂家：北京益民药业有限公司)予以局部麻醉，接着于右侧股动脉进行穿刺操作，插入型号7F导管鞘，使用适量肝素抗凝，接着插入造影导管(型号：6FJL4)予以造影，仔细观察冠脉分支与其狭窄状态。
IQon光谱CT检查：通过IQon光谱CT仪(厂家：荷兰Philips公司)进行前瞻性心电门控扫描操作。扫描前指导受检者进行呼吸训练，防止呼吸运动伪影产生，做好相关准备工作，防止出现心率突然波动情况。自气管分叉处到心脏膈下2cm处进行扫描；取肘静脉，通过双筒高压注射器将生理盐水与Ultravist(国药准字：H10970417，厂家：拜耳医药保健有限公司，规格：370mg I/mL)各50mL注入；选择自动触发系统，于受检者主动脉绘制感兴趣区，并将阈值设置为100HU触发，进行自动延迟扫描；相关参数为：电压120kV，电流(126±20)mA(采取自动管电流调制模式)，剂量指数(dose right index, DRI)指数30，层间隔与探测器层厚分别为0.45mm、0.9mm。通过能谱迭代重建技术予以图像后处理，控制重建强度3。将摄取的图像与数据传至专用工作站完成冠状动脉树评估过程。参照Elles's分类标准^[6]进行冠脉狭窄程度评估：100%狭窄判定为闭塞，75%~99%判定为重度狭窄，51%~74%判定为中度狭窄，25%~50%判定为轻度狭窄。由2名经验丰富影像科医师分别阅片，并得出统一分析结果。

【第一作者】王常雨，男，副主任医师，主要研究方向：医学影像诊断。E-mail: wangchangyu2023@163.com
【通讯作者】王常雨

1.3 统计学处理 使用SPSS 25.0软件进行数据分析与处理，正态分布计量资料表示为($\bar{x} \pm s$)，多组采取单因素方差分析法检验，进一步两两比较予以SNK-q检验；使用Kappa法分析两种诊断结果一致性，Kappa值0.41~0.60提示中等一致，0.61~0.80提示高度一致，超过0.80提示近乎完全一致。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 CAG诊断结果 82例患者中，总共评估了417个冠状动脉节段(直径不小于1.5mm)，具体分布情况见表1。CAG诊断显示：无狭窄115个，狭窄302个，包括轻度62个，中度68个，重度172个。

2.2 不同狭窄程度冠脉碘密度图比较 见表2。不同狭窄程度冠脉碘密度图比较有统计学意义($P<0.05$)。

2.3 IQon光谱CT与CAG诊断冠脉狭窄对照 见表3。IQon光谱CT诊断冠脉狭窄敏感度92.38%(279/302)，特异度90.43%(104/115)，准确率91.85%(383/417)，Kappa值0.802。

2.4 IQon光谱CT与CAG诊断冠脉狭窄程度对照 见表4。IQon光谱CT诊断重度狭窄敏感度97.09%(167/172)，特异度99.59%(244/245)，准确率98.56%(411/417)，Kappa值0.970；诊断中度狭窄敏感度88.24%(60/68)，特异度97.71%(341/349)，准确率96.16%(401/417)，Kappa值0.859；诊断轻度狭窄敏感度72.58%(45/62)，特异度97.46%(346/355)，准确率93.76%(391/417)，Kappa值0.740。

2.5 典型病例图像 患者女，59岁，临床诊断为轻度冠脉狭窄，下图1-图5为其IQon光谱CT影像图片。

表1 冠状动脉节段分布

节段	个数	占比(%)
左冠动脉主干	33	7.91
回旋支	68	16.31
左前降支	95	22.78
对角支	58	13.91
钝缘支	42	10.07
右冠动脉	92	22.06
锐缘支	29	6.95
合计	417	100.00

表2 不同狭窄程度冠脉碘密度图比较

狭窄程度	个数	碘密度图(mg/mL)
无狭窄	115	17.31±4.05 ^{#△}
轻度狭窄	62	14.47±3.81 [#]
中度狭窄	68	10.75±2.38 [#]
重度狭窄	172	7.86±1.65
F		255.128
P		<0.001

注：与重度狭窄比较，[#] $P<0.05$ ；与中度狭窄比较，^{*} $P<0.05$ ；与轻度狭窄比较，[△] $P<0.05$ 。

表3 IQon光谱CT与CAG诊断冠脉狭窄对照

IQon光谱CT	CAG		合计
	狭窄	无狭窄	
狭窄	279	11	290
无狭窄	23	104	127
合计	302	115	417

表4 IQon光谱CT与CAG诊断冠脉狭窄程度对照

IQon光谱CT	CAG				合计
	重度狭窄	中度狭窄	轻度狭窄	无狭窄	
重度狭窄	167	1	0	0	168
中度狭窄	1	60	2	5	68
轻度狭窄	2	1	45	6	54
无狭窄	2	6	15	104	127
合计	172	68	62	115	417

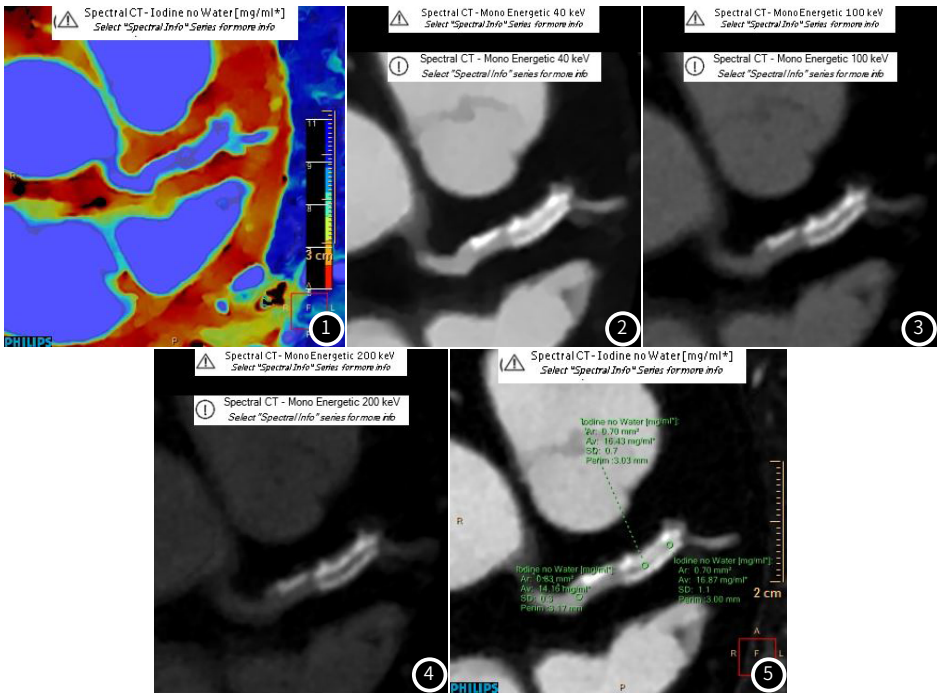


图1 Z-Eff和无水碘密度图融合图，显示出冠状动脉内碘分布情况。
图2-图4 依次为单能MononE图40keV、100keV、200keV，呈现病变及其周围结构。
图5 无水碘密度图，分析并显示碘密度16.87mg/mL。

3 讨论

冠状动脉狭窄主要为动脉管腔中产生粥样硬化斑块所致,斑块大小能够对管腔狭窄程度造成直接影响^[7]。冠脉狭窄病变会促使心肌血液灌注减少,造成心肌细胞缺血,诱发心绞痛,严重时甚至出现心肌梗死^[8-9]。临床早诊治,有利于改善冠脉狭窄患者预后。CAG为现今冠脉狭窄评估“金标准”,其主要通过穿刺操作,从大腿股动脉或邻近其他动脉置入导管,然后注入适量造影剂,对冠脉予以造影检查,其能准确评估冠脉狭窄具体位置及病变程度^[10-11]。然而,CAG技术实施过程中,需要开展穿刺操作,对人体造成创伤,同时检查期间需采取造影剂,操作过程较为复杂繁琐,并且对于一些存在禁忌的患者无法通过CAG进行诊断,从而使得CAG技术应用于冠脉狭窄评估受到了一定限制。

IQon光谱CT属于CT扫描技术,表现出辐射剂量少、分辨率好、图像显示清晰、探查范围大、操作简单快速、安全、患者舒适性好等显著特征^[12-14]。IQon光谱CT进行数据采集时,主要通过混合光谱数据包(spectral base images, SBI),能够重建获得多种数据信息,比如虚拟单能量(范围MonoE40-200keV)能够强化组织显示,从而更好呈现病变组织和邻近组织之间密度差,防止微小难以发现病变出现漏诊情况;碘密度图以及无水碘图能够提高增强后疾病诊断准确性,更好发现早期病变,和正电子发射计算机断层显像(positron emission computed tomography, PET)-CT相符;虚拟平扫技术能够省去增强扫描操作前进行常规平扫,有利于降低放射剂量,在提高检查安全性方面意义较大;Z-Eff于不同组织评估以及同源性组织发现方面发挥着重要作用,能够对多发病变进行同源以及非同源性分析。以往报道指出,IQon光谱CT可有效指导冠脉狭窄病变的诊断,同时也对心脏冠脉搭桥术以及冠脉支架置入治疗效果具有较高评估价值^[15-16]。本文中,不同狭窄程度冠脉碘密度图比较有统计学意义,提示IQon光谱CT中碘密度参数可用于冠脉狭窄的诊断。低keV单能MononE图像内,X线束能量比较靠近碘K边缘值,形成更高光电效应,增加了冠脉组织碘浓度,导致狭窄与无狭窄冠脉间对比增大,成为冠脉狭窄判断依据之一。以往有报道指出,IQon CT能够为冠脉狭窄评估提供有效影像资料,且能用于心肌梗死区域判定^[17]。本文与CAG诊断结果对照发现,IQon光谱CT诊断冠脉狭窄敏感度、特异度及准确率分别达92.38%、90.43%、91.85%,Kappa值0.802,表明IQon光谱CT对冠脉狭窄具有较高诊断效能。其中,有23个狭窄冠脉漏诊,11个无狭窄误诊为狭窄。可能原因如下:(1)心脏搏动过快时形成搏动伪影;(2)冠脉管壁产生的钙化斑块呈现硬化伪影,从而对管腔与管壁显示造成影响。本文显示,IQon光谱CT诊断重度狭窄、中度狭窄、轻度狭窄准确率分别达98.56%、96.16%、93.76%,与CAG诊断结果高度一致,在冠脉狭窄程度诊断上具有较高应用价值。主要因为Z-Eff和无水碘密度图融合图可将冠脉内碘成分分布状态清晰显示出来,无水碘密度图可对碘密度进行定量分析,单能MononE图低keV增强组织对比,可优化图像对比度,利于病变观察,单能MononE图高keV可有效去除金属伪影,利于还原周围结构,为冠脉狭窄诊断提供丰富可靠信息。

综上,IQon光谱CT技术可为冠脉狭窄病变及狭窄程度的诊断提供可靠影像资料,诊断准确率高,具有较高推广应用价值。

参考文献

- [1] Mehilli J, Presbitero P. Coronary artery disease and acute coronary syndrome in women[J]. Heart, 2020, 106(7): 487-492.
- [2] Cao D, Chandiramani R, Capodanno D, et al. Non-cardiac surgery in patients with coronary artery disease: risk evaluation and periprocedural management[J]. Nat Rev Cardiol, 2021, 18(1): 37-57.
- [3] Shah NR, Pierce JD, Kikano EG, et al. CT coronary angiography fractional flow reserve: new advances in the diagnosis and treatment of coronary artery disease[J]. Curr Probl Diagn Radiol, 2021, 50(6): 925-936.
- [4] 张昌峰, 乔英. IQon光谱CT在良恶性胸水鉴别诊断中的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2022, 38(8): 1247-1251.
- [5] 李菊香, 洪晓泉, 段少银, 等. IQon光谱CT诊断甲状腺乳头状癌颈部淋巴结转移的价值[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(10): 1853-1858.
- [6] Ellis SG, Vandormael MG, Cowley MJ, et al. Coronary morphologic and clinical determinants of procedural outcome with angioplasty for multivessel coronary disease. Implications for patient selection. Multivessel Angioplasty Prognosis Study Group[J]. Circulation, 1990, 82(4): 1193-1202.
- [7] Westra J, Rasmussen LD, Eftekhari A, et al. Coronary artery stenosis evaluation by angiography-derived FFR: validation by positron emission tomography and invasive thermodilution[J]. JACC Cardiovasc Imaging, 2023, 16(10): 1321-1331.
- [8] Nogi K, Soeda T, Hara M, et al. Functional assessment of intermediate coronary artery stenosis with 4-Fr catheters[J]. Heart Vessels, 2021, 36(5): 638-645.
- [9] Hwang HY, Paeng JC, Kang J, et al. Relation between functional coronary artery stenosis and graft occlusion after coronary artery bypass grafting[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2021, 161(3): 1010-1018.
- [10] Mantovani A, Bonapace S, Lunardi G, et al. Associations between specific plasma ceramides and severity of coronary-artery stenosis assessed by coronary angiography[J]. Diabetes Metab, 2020, 46(2): 150-157.
- [11] Małota Z, Sadowski W, Pieszkowski K, et al. The comparative method based on coronary computed tomography angiography for assessing the hemodynamic significance of coronary artery stenosis[J]. Cardiovasc Eng Technol, 2023, 14(3): 364-379.
- [12] 高艳山, 刘辉佳, 张雪宁. 光谱CT单能级重建技术优化强化欠佳肺动脉CT成像图像质量[J]. 中国医学影像学杂志, 2023, 31(10): 1054-1058.
- [13] 马一鸣, 韩小伟, 李茗, 等. IQon CT混合O-MAR技术实现颅底硬化束数据重建的可行性探讨[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(9): 1770-1775.
- [14] 朱小倩, 陈晨, 魏晓磊, 等. 光谱CT虚拟平扫在肝脏及肾上腺CT衰减一致性研究[J]. 临床放射学杂志, 2021, 40(2): 354-358.
- [15] Li B, Pomerleau M, Gupta A, et al. Accuracy of dual-energy CT virtual unenhanced and material-specific images: a phantom study[J]. AJR Am J Roentgenol, 2020, 215(5): 1146-1154.
- [16] Macchi E, Piacentino F, Curti M, et al. Type II single coronary artery from right aortic sinus, retro-aortic left coronary artery and dual LAD: a rare association of coronary arterial variations[J]. Surg Radiol Anat, 2023, 45(3): 283-287.
- [17] Boccia S, Si-Mohamed SA, Lacombe H, et al. First in-human results of computed tomography angiography for coronary stent assessment with a spectral photon counting computed tomography[J]. Invest Radiol, 2022, 57(4): 212-221.

(收稿日期: 2024-02-23)
(校对编辑: 赵望淇)