

Value of CCTA and CT-FFR on Evaluating Coronary Disease-Specific Ischemia*

论 著

CAO Hong-yan¹, CAI Xiao-hang², SUN Guo-chen^{1,*}.

1.Department of Radiology, Henan Nanyang First People's Hospital, Nanyang 473000, Henan Province, China

2.Department of Cardiovascular Medicine, Henan Nanyang First People's Hospital, Nanyang 473000, Henan Province, China

CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的价值观察*

曹红岩¹ 蔡晓航² 孙国臣^{1,*}

1.河南省南阳市第一人民医院放射科

(河南 南阳 473000)

2.河南省南阳市第一人民医院心血管内科

(河南 南阳 473000)

【摘要】目的 探究冠状动脉CT血管成像(CCTA)及基于冠状动脉CT血管成像血流储备分数(CT-FFR)评估冠脉病变特异性缺血的价值。**方法** 回顾性分析2019年7月至2022年7月于我院收治的冠心病患者70例(血管84支),患者均完成CCTA、CT-FFR及有创FFR检查,分析检查结果,并以有创FFR检查结果为金标准,评价CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的价值。**结果** 70例患者经CCTA分析病变血管84支,病变血管主要为前降支(63.09%),血管狭窄程度分布为轻度、中度、重度各16支、53支、15支;70例患者84支病变血管CT-FFR值、有创FFR值分别为(0.81±0.11)和(0.81±0.10),CT-FFR值中≤0.8 39支(46.43%)、>0.8 45支(53.57%),有创FFR值中≤0.8 37支(44.05%)、>0.8 47支(55.95%);Bland-Altman图显示,CT-FFR与有创FFR的测量平均差值-0.01,二者一致性好;CCTA最大直径狭窄率及CT-FFR值评估冠脉病变特异性缺血的ROC曲线下面积为0.993和0.703,诊断阈值为53.40%和0.80,CCTA最大直径狭窄率诊断敏感度、特异度分别为94.59%和46.81%,CT-FFR诊断敏感度、特异度分别为100.00%和93.62%。**结论** CCTA及CT-FFR均可作为冠脉病变特异性缺血评估提供有效影像学信息,其中CT-FFR与有创FFR具有良好一致性,可较为准确地诊断冠脉病变特异性缺血。

【关键词】 冠状动脉CT血管成像; CT血管成像血流储备分数; 冠状动脉病变; 缺血

【中图分类号】 R543.3

【文献标识码】 A

【基金项目】 苏州大学高校省级重点实验室开放课题(苏大科技【2020】8号)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.05.018

ABSTRACT

Objective To investigate the value of coronary CT angiography (CCTA) and coronary CT angiography-based fractional flow reserve (CT-FFR) on evaluating coronary disease-specific ischemia. **Methods** 70 patients with coronary heart disease (84 blood vessels) admitted to the hospital from July 2019 to July 2022 were retrospectively analyzed. All patients completed CCTA, CT-FFR and invasive FFR examination, and the examination results were analyzed. The results of invasive FFR examination were taken as the gold standard to assess the value of CCTA and CT-FFR on evaluating coronary disease-specific ischemia. **Results** 84 diseased vessels were analyzed by CCTA in 70 patients, and the diseased vessels were mainly anterior descending vessels (63.09%), and there were 16 vessels of mild stenosis, 53 vessels of moderate stenosis and 15 vessels of severe stenosis respectively. 84 of 70 patients The CT-FFR value and invasive FFR value of 84 diseased vessels in 70 patients were (0.81±0.11) and (0.81±0.10) respectively. There were 39 vessels (46.43%) of CT-FFR value≤0.8 and 30 vessels (35.71%)>0.8, and there were 37 cases (44.05%) of invasive FFR value≤0.8 and 47 cases (55.95%)>0.8. Bland-Altman diagram revealed that the average difference between CT-FFR and invasive FFR measurement was -0.01, and the two were in good consistency. The areas under the ROC curves of CCTA maximum diameter stenosis rate and CT-FFR value on evaluating coronary disease-specific ischemia were 0.993 and 0.703, with the diagnostic thresholds of 53.40% and 0.80. The diagnostic sensitivity and specificity were 94.59% and 46.81% of CCTA maximum diameter stenosis rate and were 100.00% and 94.59% of CT-FFR respectively. **Conclusion** Both CCTA and CT-FFR can provide effective imaging information for the assessment of coronary disease-specific ischemia. CT-FFR has good consistency with invasive FFR, and can accurately diagnose coronary disease-specific ischemia.

Keywords: Coronary CT Angiography; CT Angiography-Based Fractional Flow Reserve; Coronary Disease; Ischemia

冠心病即冠状动脉发生粥样硬化病变后出现狭窄或闭塞,引起心肌缺血、缺氧坏死的心脏疾病,其发病率近年逐年升高且呈年轻化趋势,其死亡率居于心血管病死因首位,故其已成为我国需要关注的重大公共卫生问题^[1-2]。目前临床筛查和诊断冠心病的金标准为有创性冠状动脉造影,有创性限制了其临床应用,无创性的CT冠状动脉成像(coronary CT angiography, CCTA)则是临床实际中冠心病筛查的最主要手段^[3]。但值得注意的是,常规CCTA主要为临床医师提供患者冠状动脉的解剖学信息以评估狭窄程度,而难以从功能学角度提供狭窄对心肌血供影响的信息,较难进行冠脉病变特异性缺血病灶的鉴别^[4]。国内外相关指南和专家共识中均推荐通过冠状动脉血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)鉴别冠脉病变特异性缺血病灶,进而判断患者是否需进行血运重建,但作为金标准的FFR属于有创性检查手段,花费较为高昂,还存在并发症风险,大大限制了其临床应用^[5-7]。因此,临床中迫切需要无创性FFR检查手段指导冠心病临床干预策略。而基于CCTA影像数据获得的无创性FFR(CT-FFR)能够提供冠状动脉血流功能学信息,成为临床研究热点,但其处理分析过程耗时长、需专业人员处理,目前尚未在我国普及,相关研究较少^[8-9]。本研究CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的价值,供临床参考,报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析2019年7月至2022年7月于我院收治的冠心病患者70例(血管84支)。

纳入标准: 经冠脉造影检查诊断为冠心病;年龄≥18岁;均完成CCTA、CT-FFR及有创FFR检查;临床资料完成且检查图像质量合格。**排除标准:** 有经皮冠状动脉介入术史、冠状动脉搭桥术史;冠状动脉钙化严重影响管腔狭窄情况判断;伴有心肌病;肝肾功能不全;备孕、妊娠、哺乳女性。70例患者中男、女患者各49、21例,年龄43~78(60.57±8.49)岁,体质量指数20~28(24.23±3.11)kg/m²,合并症:高血压40例、糖尿病21例、高血脂18例;吸烟史21例。

1.2 方法

1.2.1 CCTA检查 检查仪器为西门子第二代双源CT。检查前患者均进行呼吸训练及心率检查,若心率>60次/min则口服倍他洛克使心率降至≤60次/min,扫描开始前2~3 min所有患者舌下含服硝酸甘油。检查时患者取仰卧位,扫描自主动脉弓上1 cm至心脏膈面

【第一作者】 曹红岩,女,主治医师,主要研究方向:CT心血管及肿瘤诊断。E-mail: caohongyan20@163.com

【通讯作者】 孙国臣,男,主任医师,主要研究方向:心脑血管CT成像及腹部疾病的影像诊断。E-mail: hnnysgc@163.com

下1 cm范围, 参数设定: 管电压100~120 kV, 管电流290~560 mAs/转, 准直器宽度2.0 mm×128 mm×0.6 mm, 层厚0.7 mm, 机架转速0.28 s/圈; 平扫结束后经肘前静脉以高压注射泵连续注入50~70 mL非离子型碘帕醇对比剂(370 mg I/mL)+30 mL生理盐水, 速度5.5 mL/s, 采用对比剂示踪法, 于主动脉根部选择感兴趣区域监测CT衰减值, 监测值为100 HU时患者屏气, 延迟5s自动触发扫描, 数据采集选择前瞻性心电门控螺旋扫描模式, 采集图像进行最佳图像质量的数据重建, 再传输至后处理工作站。

1.2.2 CCTA图像分析 由不参与本研究的2名资深影像科医师独立进行图像分析, 二者对其他检查结果均不知晓, 采用狭窄直径法评估冠状动脉狭窄程度, 评估结果分为正常、轻度狭窄(<50%)、中度狭窄(50%~69%)、重度狭窄(70%~99%)或完全闭塞(100%), 冠状动脉狭窄程度>50%时有临床意义。

1.2.3 CT-FFR分析 将标准DICOM格式CT数据传输至CT-FFR检测专用软件(DEEPVESSE FFR, 深圳科亚医疗), 由第三方工程师完成图像分割、获取冠脉树, 生成FFR计算所需的三维网格模型, 估算心室质量、微循环阻力、血液生理状态、最大血流量, 进行流体力学评价计算, 三维网格模型中网格各点的流速、压力分布以数值法求解连续性和Navier-Stokes方程计算, CT-FFR值通过FFR计算公式自动计算获得, 每例患者图像分析时间10~30min不等; 第三方工程师对其他检查结果均不知晓; CT-FFR值≤0.80判定为冠脉病变特异性缺血, 宜行血运重建。

1.2.4 有创FFR检查 在标准冠脉造影操作过程中采用直径0.0356mm并嵌合压力传感器的压力/温度导丝进行FFR测量, 依次调零、校准主动脉压、压力导丝, 将压力导丝跨过冠脉狭窄部位输送至远端, 经肘正中静脉内泵入三磷酸腺苷, 140 μg/(kg·ml), 持续3~6 min, 诱导冠脉循环负荷, 使冠脉达到最大充血状态即测量FFR, FFR值≤0.80判定为冠脉病变特异性缺血, 宜

行血运重建。

1.3 观察指标 比较CCTA、CT-FFR、有创FFR检测结果, 分析CT-FFR、有创FFR检测结果相关性, 计算CCTA、CT-FFR检查结果评估冠脉病变特异性缺血的敏感度、特异度。

1.4 统计学方法 本研究数据分析工具为统计学软件SPSS 22.0, 计量资料CT-FFR、有创FFR值均以($\bar{x} \pm s$)表示, 二者比较为t检验, 二者诊断一致性分析采用bland-Altman图, 以有创FFR值(临界值取0.8)为诊断金标准, 经ROC曲线分析评估CT-FFR值对冠脉病变特异性缺血的诊断效能; 双侧检验, $P < 0.05$ 即表明有显著差异及统计学意义。

2 结果

2.1 70例患者CCTA检查结果 70例患者分析病变血管84支, 病变血管分布包括前降支、右冠脉、对角支、回旋支对应53支、20支、8支、3支, 最大直径狭窄率(59.94 ± 11.28)%, 分布为轻度、中度、重度各16支、53支、15支。

2.2 70例患者CT-FFR与有创FFR检查结果及二者间的关系 70例患者84支病变血管CT-FFR值、有创FFR值分别为(0.81 ± 0.11)和(0.81 ± 0.10), CT-FFR值中≤0.8 39支(46.43%)、>0.8 45支(55.95%); Bland-Altman图一致性评价显示, CT-FFR与有创FFR的测量平均差值-0.01, 绝大部分数据分布在差异均值95%一致性界限内, 两方法间一致性好, 见图1。

2.3 CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的ROC曲线分析 CCTA最大直径狭窄率及CT-FFR值评估冠脉病变特异性缺血的ROC曲线下面积为0.993(95CI%: 0.943~1.000)和0.703(95CI%: 0.593~0.798), 诊断阈值为53.40%和0.80, 诊断敏感度分别为94.59%和100.00%、特异度分别为46.81%和93.62%, 见图2。

2.4 病例图示

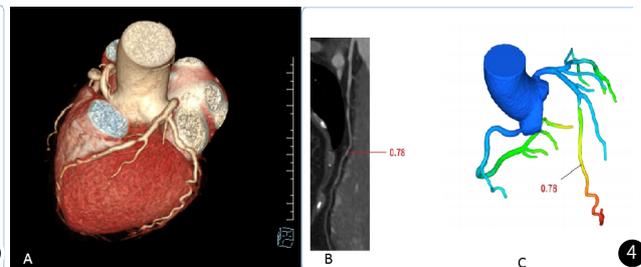
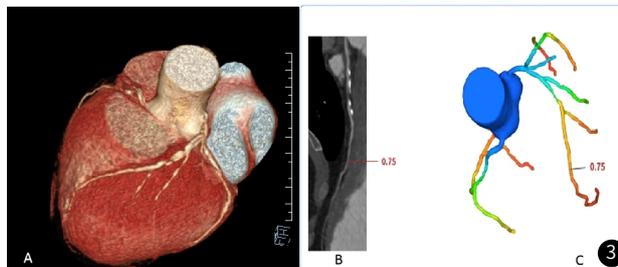
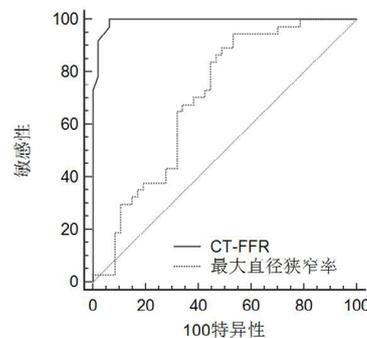
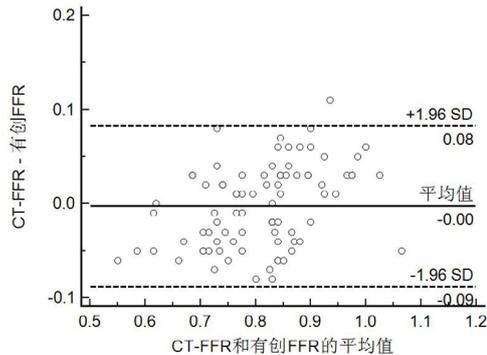


图1 CT-FFR与有创FFR检查结果的Bland-Altman图。**图2** CCTA及CT-FFR评估冠脉病变特异性缺血的ROC曲线分析。**图3** A: CCTA 3D-VR图像显示左前降支近段钙化斑块; B: CCTA曲面重建图像示管腔重度狭窄(箭头所示), 显示CT-FFR测量位置; C: CT-FFR图像; 示斑块远端CT-FFR值为0.75。**图4** A: CCTA 3D-VR图像显示左前降支近段非钙化斑块; B: CCTA曲面重建图像示管腔重度狭窄(箭头所示), 显示CT-FFR测量位置; C: CT-FFR图像; 示斑块远端CT-FFR值为0.78。

3 讨论

CCTA是诊断冠心病最常用的无创性检查手段, 能够提供包括冠状动脉粥样硬化斑块性质分析和冠状动脉狭窄程度的解剖学信息^[10]。本研究中70例冠心病患者经CCTA检查病变血管, 病变血管主要为前降支, 血管狭窄程度多为中度, 证实CCTA能够提供冠心病患者冠脉狭窄程度的解剖学信息。

冠心病的早期诊断、精准治疗是临床医学不懈追求的目标之

一, 通过经济、有效、准确的早期筛查和病情评估手段指导疾病临床干预和管理, 备受临床关注。随着冠心病诊疗领域科学研究的推进, 临床报道显示单纯以CCTA或其他检查手段获得的解剖狭窄程度信息作为血运重建指征并不能改善患者预后^[11]。CCTA冠状动脉狭窄程度并不能完全代表心肌缺血的严重程度, 其反映冠状动脉血流动力学的改变或生理学意义有限, 即在鉴别冠状动脉临界病变特异性缺血方面能力有限^[12]。故临床仍需进行准确的心脏功能学评估, 获取冠脉病变特异性缺血情况信息, 以指导冠心

病患者的诊疗策略和是否进行血运重建。经导管技术测量冠心病跨血管狭窄处压力阶差的有创FFR是目前从生理功能方面评估冠脉病变特异性缺血、诊断患者是否需要进行血运重建的金标准，其数值 <0.8 即提示冠脉病变可引起心肌缺血，患者宜行血运重建^[13,14]。虽然该金标准手段在冠心病诊疗过程中可改善预后并避免不必要的血运重建，但其为有创性检查且临床花费相对较高，存在一定手术并发症风险，临床应用受到限制^[15]。基于临床对鉴别冠脉病变特异性缺血的无创检查手段需求，近年临床研究出现了无创的CT-FFR，该技术基于标准化的CCTA图像数据，模拟冠状动脉最大充血状态，建立三维解剖学模型，获取血管管腔形态信息学，对血管内血流的还原度和精确度较高，可经计算机将生理学参数和流体力学原则与三维解剖学模型结合运算获得整个冠脉血管树的CT-FFR分布，在任意维持测量获得CT-FFR值，提供病变血管的血流动力学信息，有助于指导血运重建^[16,17]。但早期CT-FFR运算量大，需通过超级计算机运行，近年相关计算机软件研发有所进展，中国科亚医疗公司DEEPVESSEL FFR得到一定应用，该软件运算速度和诊断准确性得到提升，明显缩短了CT-FFR计算时间，提高了该项检查评估手段的临床可行性，但目前仍需更多临床研究证实^[18]。本研究有创FFR临界值为0.8，70例患者84支病变血管中37支存在冠脉病变特异性缺血，47支则冠脉病变血流动力学变化无临床意义，以此为诊断金标准，CCTA最大直径狭窄率评估冠脉病变特异性缺血敏感度较高而特异性低，其特异性低考虑可能的原因是冠脉病变血流动力学除解剖学狭窄外还可能受其他因素的影响，病变血管狭窄程度与缺血间并非绝对的线性关系。而本研究中，CT-FFR值评估冠脉病变特异性缺血则具有良好诊断效能，诊断敏感度达100%，与有创FFR具有良好一致性，这表明CT-FFR能够较为准确地诊断冠脉病变特异性缺血，为无创性评估冠脉病变的血流动力学意义提供了较为理想的方法。但值得注意的是，CT-FFR结果受算法和CCTA图像质量相关因素的影响，结果运算仍需专业人员进行，技术本身还有较大发展潜力，需经临床研究不断优化改进。此外，本研究样本量较少，且为回顾性分析，未涉及患者CCTA的斑块定量分析，仍有待改进。

综上所述，在冠脉病变特异性缺血评估中，CCTA最大直径狭

窄率诊断效能有限而CT-FFR则具有较高诊断效能，CT-FFR与有创FFR具有良好一致性，能够为冠脉病变特异性缺血临床诊断及治疗提供有效的信息并减少不必要的血运重建，值得临床推广。

参考文献

- [1] 李飞飞, 杜蕊, 陈静, 等. 经皮冠状动脉介入冠心病患者Hp感染危险因素及炎症因子水平变化[J]. 中华医院感染学杂志, 2021, 31(9): 1329-1332.
- [2] 陈伟, 杨晓瑜, 马丽. CTA成像在冠心病筛查中的应用价值及其疾病相关危险因素 Logistic回归分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(5): 54-56.
- [3] 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.
- [4] 赵娜, 高扬, 徐波, 等. 基于冠状动脉CT血管成像的狭窄率与斑块特征联合分析对提高CT诊断心肌缺血效能的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(1): 40-47.
- [5] 项美香. 血流储备分数及其应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2012.
- [6] Neumann FJ, Sousa-Uva M, Ahlsson A, et al. 2018 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization[J]. Eur Heart J, 2019, 40(2): 87-165.
- [7] 吕滨. 以临床需求为导向, 推进冠状动脉CT成像新技术的临床应用[J]. 中国医学影像技术, 2020, 36(2): 161-164.
- [8] 翁婷雯, 毛定颢, 金惊, 等. 计算机断层成像血流储备分数对冠状动脉中度病变的稳定型冠状动脉性心脏病患者预后的预测作用[J]. 上海医学, 2020, 43(1): 14-17.
- [9] 李长岭, 冷晓畅, 冯立, 等. 优化算法FFR-CT与有创FFR的对照研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2020, 29(12): 1618-1621.
- [10] 李萌, 谭理连, 李树欣, 等. 256排CT对冠心病冠脉狭窄程度与心肌灌注相关性的分析[J]. 广东医学, 2019, 40(S1): 76-81.
- [11] 邱世锋, 冯骞, 李丹霞, 等. 评估存活心肌指导血运重建的临床证据与争议[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(01): 93-97.
- [12] 李龙朋, 刘军, 陈雷, 等. CT冠状动脉造影和CT血流储备分数在可疑冠心病患者中的应用[J]. 中国临床医学影像杂志, 2021, 32(8): 583-586.
- [13] 钱海燕, 黄凯, 马文健, 等. 冠状动脉血流储备分数位于灰区的老年冠心病患者不同治疗策略[J]. 中华老年医学杂志, 2020, 39(3): 273-276.
- [14] 高峻, 唐熠达. 冠脉血流储备分数可能成为非梗死相关血管介入治疗的新标准[J]. 中国实用内科学杂志, 2019, 39(9): 792-795.
- [15] 李乐, 艾虎, 孙福成. 冠状动脉血流储备分数衍生指标进展[J]. 中华心血管病杂志, 2021, 49(11): 1157-1162.
- [16] 姚翔, 邢波. 无创血流储备分数临床应用的研究进展[J]. 中南大学学报(医学版), 2019, 44(9): 1078-1082.
- [17] 乔红艳, 张龙江. 基于冠状动脉CT血管成像血流储备分数的研究进展[J]. 中华放射学杂志, 2019, 53(4): 324-328.
- [18] 中华医学会放射学分会质量控制与安全管理专业委员会, 江苏省医学会放射学分会智能影像与质量安全学组. 冠状动脉CT血流储备分数应用中国专家建议[J]. 中华放射学杂志, 2020, 54(10): 925-933.

(收稿日期: 2022-07-18)

(校对编辑: 姚丽娜)

(上接第32页)

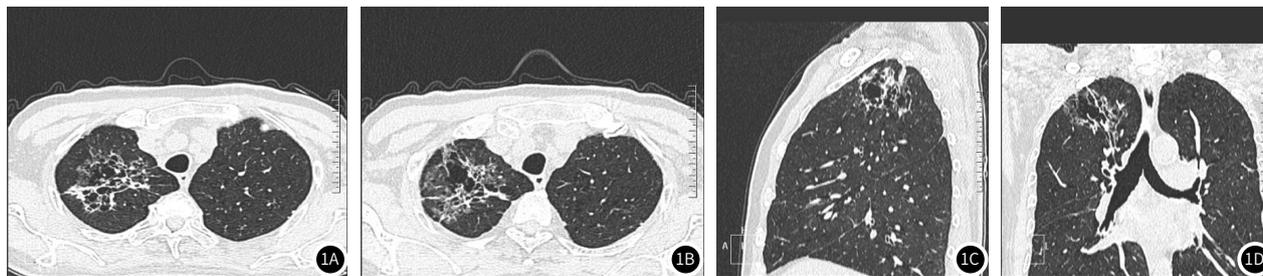


图1 囊腔型肺癌患者的影像分析结果, 注: 58岁囊腔型肺癌患者。CT下观察可见右肺上叶尖段混合性多房囊腔性密度影, 边缘可见实性密度和磨玻璃密度, 边界清楚, 边缘分叶和毛刺, 内多发大小不等气囊腔影, 可见胸膜牵拉, 病灶大部分以磨玻璃和囊腔成分为主, 有少量实性成分(图1A~图1B); 病灶矢状位重建, 病灶位于右肺上叶尖段, 肋胸膜牵拉凹陷(图1C); 冠状位重建图像, 病灶分叶状, 边界清楚, 以囊腔为主的多种成分占位(图1D)。

参考文献

- [1] Mendoza D P, Heeger A, Mino-Kenudson M, et al. Clinicopathologic and Longitudinal Imaging Features of Lung Cancer Associated With Cystic Airways: A Systematic Review and Meta-Analysis[J]. AJR Am J Roentgenol, 2021, 216(2): 318-329.
- [2] 周再稳, 肖华, 江婷, 等. NSE、CA15-3联合CA125检测在肺癌诊断中的临床意义[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(8): 39-41, 68.
- [3] 杨亚茹, 何慧, 薛松, 等. 囊腔型肺癌的CT特征动态变化及病理对照分析[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(7): 682-686.
- [4] 望云, 刘士远, 范丽, 等. 含薄壁囊腔周围型肺癌的CT特征及病理基础分析[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(2): 96-101.
- [5] 殷爽, 刁晓鹏, 王培培, 等. 囊腔型肺癌多层螺旋CT表现与病理基础探讨[J]. 实用放射学杂志, 2021, 37(10): 1610-1613.
- [6] 冯会, 时高峰. 55例囊腔类肺癌的CT表现及病例分析[J]. 中国肿瘤临床, 2019, 46(21): 1117-1120.
- [7] Nakamura D, Kondo R, Makiuchi A, et al. Metachronous Thin-Walled Cavity Lung Cancers Exhibiting Variable Histopathology[J]. Ann Thorac Surg, 2019, 108(6): 353-355.

- [8] 代平, 刘勇, 何其舟, 等. 囊腔类肺癌MSCT征象与病理类型的相关性分析[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2018, 24(6): 474-478.
- [9] 葛晓莉. 宝石能谱CT低剂量扫描肺癌诊断中应用价值探析[J]. 罕少疾病杂志, 2022, 29(9): 28-29.
- [10] 贾欣. 周围型肺癌患者临床诊断中多层螺旋CT的应用及临床意义[J]. 重庆医学, 2021, 50(2): 289-290.
- [11] 卫旭瑛, 白峰嵘, 孔令福, 等. MSCT薄壁囊腔型肺癌、薄壁空洞性肺结核影像学特征及鉴别诊断[J]. 中国CT和MRI杂志, 2022, 20(5): 68-70.
- [12] 张彬, 李贝贝, 李晓东. 囊腔类肺癌的MSCT影像特征分析[J]. 山东医药, 2020, 60(8): 55-58.
- [13] 刘展, 张真榕, 孙宏亮, 等. <3 cm薄壁囊腔型肺癌的CT征象及临床病理特征分析[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2019, 26(11): 1074-1078.
- [14] 谭洋, 伍建林. 囊腔类肺癌病理学基础与CT表现特点[J]. 中国医学影像技术, 2018, 34(11): 1728-1731.
- [15] 代平, 欧光乾, 刘勇, 等. 薄壁囊腔类肺癌与薄壁空洞性肺结核MSCT诊断对比研究[J]. 放射学实践, 2018, 33(4): 389-393.

(收稿日期: 2022-07-27)

(校对编辑: 孙晓晴)