

肺栓塞肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征及其诊断价值

张锋玫, 黄军荣, 谢紫东, 苏泓燕
梧州市红十字会医院放射科, 广西 梧州 543002

【摘要】目的:探讨肺栓塞(PE)肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征及其诊断价值。**方法:**回顾性分析53例高度疑似PE患者,获取单能量能谱CT肺动脉造影(CTPA)图像和碘基肺灌注图,记录CTPA图像和碘基肺灌注图检出的肺动脉栓子数目及其分布、分型情况;分析肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征;比较不同栓塞程度及类型能谱CT扫描碘基值;比较栓塞区与对照区能谱CT扫描碘基值、水基值和CT值等能谱CT扫描参数。**结果:**以CTPA为金标准,53例高度疑似PE的患者中确诊32例。能谱CTPA检出162个栓子,完全型栓子37个,非完全型栓子125个;碘基肺灌注图检出171个栓子,完全型栓子49个,非完全型栓子122个。中心型、偏心型和完全型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值均明显低于对照区($P<0.05$);附壁型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值与对照组无显著差异($P>0.05$);完全型栓塞区碘基值显著低于中心型、偏心型和附壁型等非完全型栓塞区($P<0.05$)。**结论:**PE肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征主要表现为肺动脉内充盈缺损、肺动脉扩张、肺动脉高压、马赛克征、轨道征等征象,肺动脉能谱CT胸部扫描碘基肺灌注图可作为PE早期诊断及栓塞程度评估的影像学依据。

【关键词】肺栓塞;肺动脉;能谱CT;影像学特征;碘基肺灌注图

【中图分类号】R563.5;R816.4

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2023)02-0186-04

Imaging characteristics and diagnostic value of energy spectral CT pulmonary angiography for pulmonary embolism

ZHANG Fengmei, HUANG Junrong, XIE Zidong, SU Hongyan

Department of Radiology, Wuzhou Red Cross Hospital, Wuzhou 543002, China

Abstract: Objective To explore the imaging characteristics of energy spectral CT pulmonary angiography (CTPA) for pulmonary embolism (PE) and explore its diagnostic value. **Methods** A total of 53 cases of highly suspected PE were retrospectively analyzed. The single-energy spectral CTPA images and iodine-based material decomposition images for lung perfusion detection were obtained to record the number, distribution and classification of pulmonary emboli. The imaging characteristics of CTPA were analyzed. The iodine concentrations in spectral CT for patients with different degrees and types of embolism were compared, and the spectral CT scan parameters (iodine concentration, water concentration and CT number) in embolism area and control area were compared. **Results** Taking CTPA as the golden standard, in the 53 patients with highly suspected PE, there were 32 confirmed cases. Energy spectral CTPA showed that there were 162 emboli, including 37 complete emboli and 125 incomplete emboli, while the iodine-based material decomposition image showed that there were 171 emboli, including 49 complete emboli and 122 incomplete emboli. For central, eccentric and complete emboli, the iodine concentrations in embolism area were significantly lower than those in control area ($P<0.05$), but for wall-attached emboli, there was no significant difference between embolism area and control area ($P>0.05$). In embolism area, the iodine concentration of complete emboli was significantly lower than those of incomplete emboli (central, eccentric and wall-attached) ($P<0.05$). **Conclusion** The imaging characteristics of pulmonary artery energy spectrum CT chest scan include filling defect in pulmonary artery, pulmonary artery dilatation, mosaic sign, orbital sign and pulmonary infarction. The images of iodine-based pulmonary perfusion can be applied as the imaging basis for the early diagnosis of PE and the evaluation of embolism severity.

Keywords: pulmonary embolism; pulmonary artery; energy spectral CT; imaging characteristic; iodine-based lung perfusion

【收稿日期】2022-09-24

【基金项目】梧州市科学技术局科研课题(201902150)

【作者简介】张锋玫,副主任医师,研究方向:放射诊断,E-mail: zfm55126@163.com

前言

肺栓塞(Pulmonary Embolism, PE)是由血栓、脂肪滴或气泡等栓子进入肺动脉及其分支阻断其血流引起的系列临床病理综合征,临床主要表现为晕厥、发绀和不明原因气促等症状,早期诊断并给予有效干预治疗,可降低其临床死亡率和致残率^[1-2]。因此,寻求可靠的影像学指标对PE患者进行早期诊断,对进一步的治疗具有重要意义。CT肺动脉造影(Computed Tomographic Pulmonary Angiography, CTPA)具有简便和准确度高等优势,但常规CTPA需较高浓度和较大剂量的造影剂,对周围小血管内栓子易出现漏诊现象,临床推广受限^[3-4]。能谱CT是一种高清低剂量的螺旋CT成像技术,具有扫描速度快、成像清晰度高和照射剂量低的优势,极大程度提高了临床诊断的精确度和安全性^[5-6]。既往有研究报道能谱CT肺灌注缺损指数评估急性肺栓塞危险分层的可行性^[7],但少见能谱CT在PE患者胸部扫描影像学特征及其诊断价值的报道。本研究主要探讨PE肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征及其诊断价值,旨在为PE患者病情诊治提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

回顾性分析2021年3月~2022年7月间梧州市红十字会医院收治的53例高度疑似PE的患者,年龄25~75岁,平均(59.62±5.37)岁,男32例,女21例。纳入标准:出现突发不明原因胸痛、咯血、发绀、呼吸困难,伴啰音、胸膜摩擦音,高度怀疑PE并接受CTPA检查;均为首次发病;行能谱CT扫描,图像质量满足诊断要求;临床资料完整。排除标准:合并严重心、肝、肾等脏器功能不全及其它免疫性相关性疾病;合并肺炎、支气管炎等肺部急慢性炎症性疾病;合并血液系统疾病;有溶栓或抗凝治疗史;造影剂过敏;合并肺部恶性肿瘤。本研究经医院伦理委员会批准通过。

1.2 仪器与方法

1.2.1 能谱CT检查方法 所有患者均采用GE Revolution 256排CT进行扫描,扫描范围为胸部整个肺野,根据定位图从胸廓入口水平至膈肌水平。扫描参数设置:能谱扫描模式,单能量观察65 keV,高低电压设置为40/140 kVp,管电流为600 mA,层间距为0.625 mm,层厚为1.25 mm,视野为35 cm×35 cm,矩阵为512×512。图像重建层厚为0.625 mm,对比剂为碘海醇。使用高压双筒注射器以5 mL/s速度注入20 mL碘海醇,随后注射生理盐水20 mL,速

度为5 mL/s,采用对比剂自动跟踪技术,以肺动脉主干作为感兴趣区(ROI),密度达50 HU时开始自动扫描并获取图像。

1.2.2 图像处理及分析 扫描数据传入AW4.7工作站进行图像后处理,观察65 keV单能量CTPA图、碘基肺灌注图肺动脉内有无栓子,并记录栓子的位置、类型及数量。利用工作站自带的分析软件检测栓塞区与对照区ROI的碘基值、水基值和65 keV单能量对应的CT值。其中,对照区选择时应尽量选取栓塞区对侧相同位置的肺野,如出现双侧对称栓塞,则将对侧区设置为栓塞区临近部位的肺野。ROI选择时应尽量选取无大血管和气管的肺组织。栓塞区与对照区ROI的碘基值、水基值和65 keV单能量对应的CT值均测量3次,取其均值作为最后结果。所有能谱CT胸部扫描图像处理及分析均由两位经验丰富的影像科医师诊断意见一致为标准,诊断意见不统一时由影像科主任医师进行会诊并协商至意见统一。

1.2.3 PE诊断标准 CTPA诊断PE标准^[8]:肺动脉内的低密度充盈缺损,出现完全性或不完全性充盈缺损,管腔狭窄或出现完全闭塞。碘基物质图像诊断PE标准^[9]:与临近肺组织或对侧相同位置肺组织比较,出现持续的肺血流低灌注。

1.3 统计学处理

采用SPSS22.0统计学软件进行数据分析,计量资料采用均数±标准差表示,两组间差异采用独立样本 t 检验,多组间差异采用单因素方差分析。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

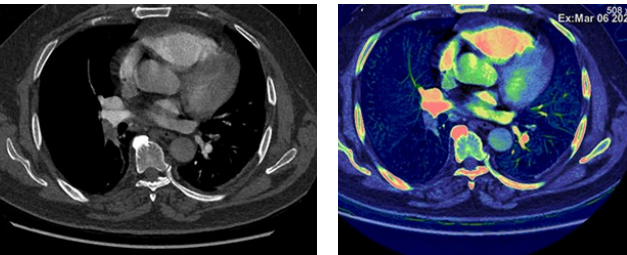
2 结果

2.1 肺动脉栓子的分布及分型

以能谱CTPA作为诊断金标准,53例疑似PE患者中确诊32例,占比60.38%。CTPA共检出162个栓子,其中主肺动脉栓子检出6个,肺叶动脉栓子检出41个,肺段动脉栓子检出71个,亚段动脉栓子检出44个;完全型栓子37个,非完全型栓子125个(中心型34个、偏心型69个、附壁型22个)。PE能谱CT胸部扫描碘基肺灌注图共检出171个栓子,其中主肺动脉栓子检出6个,肺叶动脉栓子检出41个,肺段动脉栓子检出75个,亚段动脉栓子检出49个;完全型栓子49个,非完全型栓子122个。

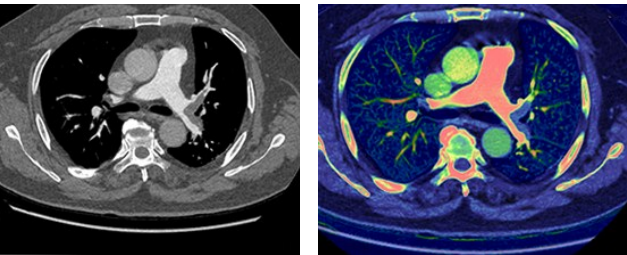
2.2 PE能谱CT胸部扫描影像学特征

49个完全型栓子,影像学表现为低密度影,伴肺动脉高压征,见图1。122个非完全型栓子包括中心型、偏心型和附壁型,影像学表现为形状不规则的肺灌注缺损区,部分呈现轨道征、马赛克征和肺梗死灶等典型CT征象,伴不同程度的肺动脉扩张,见图2~图4。



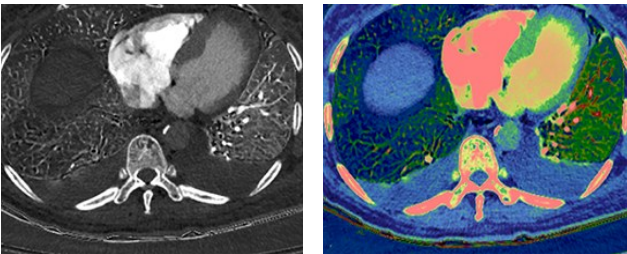
a:能谱胸部CT扫描单能量图 b:能谱CT胸部扫描灌注伪彩图

图1 右肺下叶背段完全型闭塞,伴供血范围肺灌注缺损
Figure 1 Complete occlusion of the lower lobe dorsal segment in right lung, accompanied with lung perfusion defects in blood supply range



a:能谱CT胸部扫描单能量图 b:能谱CT胸部扫描碘基伪彩图

图2 左肺上下叶动脉偏心型PE,局部管腔增粗
Figure 2 Eccentric PE of upper and lower lobe arteries in left lung, with local lumen thickening



a:能谱CT胸部扫描碘基图 b:能谱CT胸部扫描碘基伪彩图

图3 右肺下叶后基底段肺动脉分支附壁型栓塞
Figure 3 Wall-attached emboli of pulmonary artery branch of posterior basal segment in the right lung lower lobe

2.3 栓塞区与对照区不同栓塞程度及类型栓子能谱CT扫描碘基值比较

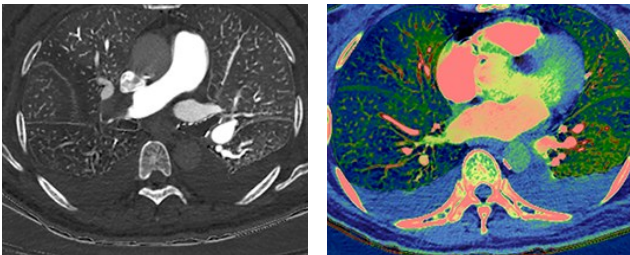
表2 栓塞区与对照区能谱CT扫描参数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of spectral CT scan parameters between embolism area and control area (*Mean±SD*)

能谱CT扫描参数	<i>n</i>	栓塞区	对照区	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
碘基值/ $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	162	11.19±1.75	18.03±3.82	20.719	<0.001
水基值/ $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	162	175.32±32.18	174.90±32.04	0.118	0.906
CT值/HU	162	-733.06±152.49	-658.83±129.10	4.728	<0.001

3 讨论

PE是由机体深静脉血栓脱落阻塞肺动脉引起的临



a:能谱CT胸部扫描碘基图 b:能谱CT胸部扫描碘基伪彩图

图4 肺碘灌注缺损,呈现典型马赛克征
Figure 4 Pulmonary iodine perfusion defects, showing typical mosaic sign

中心型、偏心型和完全型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值均明显低于对照区($P<0.05$);附壁型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值与对照组无显著差异($P>0.05$),见表1。完全型栓塞区碘基值显著低于中心型、偏心型和附壁型等非完全型栓塞区($F=20.800$, $P<0.001$);中心型、偏心型和附壁型栓塞区碘基值比较,差异无统计学意义($F=0.971$, $P=0.382$)。

表1 栓塞区与对照区不同栓塞程度及类型栓子能谱CT扫描碘基值比较($100\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3, \bar{x} \pm s$)

Table 1 Comparison of iodine concentration of energy spectral CT scan in emboli of different degrees and types in embolism area and control area ($100\text{ }\mu\text{g}/\text{cm}^3, \text{Mean}\pm\text{SD}$)

栓子类型	<i>n</i>	栓塞区	对照区	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
中心型	34	10.45±2.27	12.74±3.61	3.131	0.002
偏心型	69	11.03±2.56	14.28±3.92	5.766	<0.001
附壁型	22	11.35±2.79	12.75±2.58	1.728	0.091
完全型	37	7.58±1.32	12.42±2.83	9.427	<0.001

2.4 栓塞区与对照区能谱CT扫描参数比较

栓塞区碘基值、CT值均明显低于正常对照区($P<0.05$);栓塞区与对照区水基值比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。见表2。

床危重症,因其常无显著临床症状表现,极易因漏诊或误诊使患者延误最佳治疗时间,严重时可导致患者死

亡^[10-11]。能谱CT是临床诊断PE常用的无创性影像学方法,以碘和水为基物质,通过单能量能谱成像清晰显示肺实质内血流灌注分布情况,降低肺亚段栓子的误诊和漏诊率^[12]。能谱CT胸部扫描过程中,肺内碘浓度分布情况可反映肺内瞬时血流灌注缺损情况,提高PE诊断效果^[13]。本研究结果说明能谱CT胸部扫描碘基肺灌注图与能谱CTPA具有类似的栓子检出效果,这与杨彦兵等^[14]研究结果类似,提示能谱CT胸部扫描对PE具有一定的诊断价值。PE患者能谱CT胸部扫描包括主肺动脉、左右肺动脉主干及分支,其中主肺动脉、肺叶动脉、肺段动脉栓子检出率分别为3.51%、23.98%和43.86%。影像学表现包括完全型或部分型肺动脉栓塞、外周附壁型肺动脉栓塞、马赛克征、轨道征和肺梗死灶等典型CT征象,部分可见伴程度各异的肺动脉高压和肺动脉扩张。在碘基图及碘基伪彩图中,PE直接征象表现为栓塞处血管供应肺实质出现持续低灌注,并通过碘基值的变化情况反映肺组织血流灌注程度。

本研究结果显示中心型、偏心型和完全型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值均明显低于对照区,附壁型栓子栓塞区能谱CT扫描碘基值与对照组无显著差异,说明除附壁型栓子外,其他类型PE栓塞区能谱CT扫描碘基值呈现显著下降趋势。能谱CT胸部扫描碘基图是基于碘对比剂在肺灌注血流分布情况获取的肺组织及肺动脉碘分布图像,当肺动脉内出现栓子时,栓塞肺内出现持续性低灌注血流,碘含量明显减少,通过对肺实质内含碘量的定量检测,反映肺实质血流动力变化^[15]。本研究同时对不同栓塞程度及类型栓子的能谱CT扫描碘基值进行比较,结果显示完全型栓塞区碘基值显著低于中心型、偏心型和附壁型等非完全型栓塞区,但中心型、偏心型和附壁型栓塞区碘基值无显著差异,这与郭炜^[16]等研究结果类似,说明能谱CT胸部扫描碘基图的低灌注区可反映PE栓子的栓塞程度,但对非完全型栓子的具体类型尚缺乏可靠的鉴别效果。能谱CT瞬时切换模式可获取40~140 keV单能量成像,利用特定物质在X线中吸收的变化规律进行能量谱物质分离^[17-18]。本研究中栓塞区碘基值、CT值均明显低于正常对照区,而栓塞区与对照区水基值差异不显著,提示肺动脉能谱CT胸部扫描可借助单次增强扫描获取相应的CTPA图像及碘基图,并利用相关参数显示肺组织血流灌注情况,有利于PE的早期诊断及栓塞程度评估,对后续的诊疗方案制定具有积极的临床意义。

综上所述,PE肺动脉能谱CT胸部扫描影像学特征主要表现为肺动脉内充盈缺损、肺动脉扩张、肺动脉高压、马赛克征、轨道征等征象,可通过碘基图显示肺组织异常血流灌注,为PE的早期诊断及栓塞程度评估提供影像学参考依据。

【参考文献】

- [1] Essien EO, Rali P, Mathai SC. Pulmonary embolism[J]. Med Clin North Am, 2019, 103(3): 549-564.
- [2] Hepburn-brown M, Darvall J, Hammerschlag G. Acute pulmonary embolism: a concise review of diagnosis and management [J].

- Intern Med J, 2019, 49(1): 15-27.
- [3] Coulier B. Computed tomographic angiography (CTA) diagnosis of a rare meandering right pulmonary vein (MRPV) [J]. Surg Radiol Anat, 2021, 43(9): 1497-1501.
- [4] Kornblum J, Daugherty RJ, Bounds R, et al. Diagnostic yield of computed tomographic pulmonary angiography for suspected pulmonary embolism varies across settings within a community-based health system [J]. Emerg Radiol, 2021, 28(2): 291-296.
- [5] 赵艳玲, 肖太星, 张丽红, 等. 宝石CT低剂量对比剂能谱成像联合CTPA在肺栓塞诊断中的应用[J]. 医学影像学杂志, 2016, 26(12): 2221-2223.
- [6] Zhao YL, Xiao TX, Zhang LH, et al. Application of spectral imaging combined with CTPA with low dose contrast medium in the diagnosis of pulmonary artery embolism [J]. Journal of Medical Imaging, 2016, 26(12): 2221-2223.
- [6] 周笑莹, 张华. 双源双能量CT单能谱技术在肺动脉及下肢静脉联合成像中的应用价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(1): 66-69.
- [7] Zhou XY, Zhang H. Impact of dual energy virtual monochromatic imaging on image quality and diagnostic accuracy at the combined computed tomography angiography of pulmonary and lower extremity vein [J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2021, 19(1): 66-69.
- [7] 杨秀娟, 陈焱, 管川江, 等. 应用能谱CT肺灌注缺损指数评估急性肺栓塞危险分层的可行性[J]. 广西医学, 2021, 43(11): 1309-1312.
- [7] Yang XJ, Chen Y, Guan CJ, et al. Feasibility of spectral CT pulmonary perfusion defect index in evaluation of risk stratification of acute pulmonary embolism [J]. Guangxi Medical Journal, 2021, 43(11): 1309-1312.
- [8] 徐晓斌, 楼丹萍, 张建军. 能谱CT动脉成像在感染性心内膜炎致脓毒性肺栓塞中的诊断评价[J]. 中华医院感染学杂志, 2014, 24(15): 3893-3895.
- [8] Xu XB, Lou DP, Zhang JJ. Diagnostic value of CT pulmonary angiogram in septic pulmonary embolism induced by right-sided infective endocarditis [J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2014, 24(15): 3893-3895.
- [9] 林婷婷, 邓克学, 韦炜, 等. 能谱CT定量碘基物质图在肺栓塞诊断中的应用[J]. 安徽医科大学学报, 2013, 48(9): 1095-1098.
- [9] Lin TT, Deng KX, Wei W, et al. Application of gemstone spectral CT quantitative iodine mapping in diagnosis of pulmonary embolism [J]. Acta Universitatis Medicinalis Anhui, 2013, 48(9): 1095-1098.
- [10] Hobohm L, Lankeit M. Pulmonary embolism [J]. Dtsch Med Wochenschr, 2019, 144(18): 1286-1300.
- [11] Couturaud F, Bertoletti L, Pastre J, et al. Prevalence of pulmonary embolism among patients with COPD hospitalized with acutely worsening respiratory symptoms [J]. JAMA, 2021, 325(1): 59-68.
- [12] Zeng D, Yao L, Ge Y, et al. Full-spectrum-knowledge-aware tensor model for energy-resolved CT iterative reconstruction [J]. IEEE Trans Med Imaging, 2020, 39(9): 2831-2843.
- [13] 姚标, 李晓峰, 刘彩云, 等. 能谱CT在急性肺栓塞诊断及肺血流灌注变化评估中的应用[J]. CT理论与应用研究, 2019, 28(6): 693-699.
- [13] Yao B, Li XF, Liu CY, et al. Application of energy spectral CT in the diagnosis of acute pulmonary embolism and evaluation of pulmonary perfusion changes [J]. Computerized Tomography Theory and Applications, 2019, 28(6): 693-699.
- [14] 杨彦兵, 石惠, 张瑞荣, 等. 宝石CT能谱成像定量参数在肺栓塞诊断中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(11): 1836-1839.
- [14] Yang YB, Shi H, Zhang RR, et al. The value of quantitative parameters of gemstone spectral CT in the diagnosis of pulmonary embolism [J]. Journal of Practical Radiology, 2019, 35(11): 1836-1839.
- [15] 韦学, 丁可, 赵晓英, 等. 能谱CT肺动脉造影碘基物质成像技术在段以下肺动脉栓塞中的应用[J]. 广西医学, 2020, 42(11): 1369-1372.
- [15] Wei X, Ding K, Zhao XY, et al. Application of energy-spectral computed tomographic pulmonary angiography using iodine-based material imaging technology to pulmonary embolism below bronchopulmonary segments [J]. Guangxi Medical Journal, 2020, 42(11): 1369-1372.
- [16] 郭炜, 李美娇, 王晓华, 等. 16 cm宽探测器双能量能谱CT碘基物质图诊断肺栓塞的价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(1): 120-122.
- [16] Guo W, Li MJ, Wang XH, et al. The diagnostic value of pulmonary embolism using iodine-based material decomposition images with a 16 cm wide-detector dual-energy spectral CT [J]. Journal of Practical Radiology, 2020, 36(1): 120-122.
- [17] Fernandez-velilla Cepria E, González-ballester MÁ, Quera Jordana J, et al. Determination of the optimal range for virtual monoenergetic images in dual-energy CT based on physical quality parameters [J]. Med Phys, 2021, 48(9): 5085-5095.
- [18] Sugawara H, Takayanagi T, Ishikawa T, et al. New fast kVp switching dual-energy CT: reduced severity of beam hardening artifacts and improved image quality in reduced-iodine virtual monochromatic imaging [J]. Acad Radiol, 2020, 27(11): 1586-1593.

(编辑:黄开颜)