

慢性血栓栓塞性肺动脉高压双能量 CT 表现

唐春香, 赵艳娥, 张龙江, 周长圣, 陈燕, 卢光明

【摘要】 目的:探讨慢性血栓栓塞性肺动脉高压(CTEPH)的双能量 CT 表现。方法:对经临床及心脏超声证实的 13 例 CTEPH 患者进行双能量 CT 扫描。由两位放射科医师以肺叶为单位独立分析双能量 CT 肺血容量灌注成像(Lung PBV)肺灌注缺损的数目、位置,分析 CTEPH 患者的 CT 肺动脉成像(CTPA)表现。利用 Kappa 检验分析两位阅片者诊断 CTEPH 的一致性。结果:13 例 CTEPH 表现为血栓沿肺动脉内壁分布,呈不规则偏心性、附壁性充盈缺损或肺动脉突然狭窄。肺梗死 1 例,“马赛克”样肺灌注 6 例,胸腔积液 1 例,肺动脉主干直径/同层主动脉直径(PA/AA) >1 者 12 例,对比剂腔静脉返流 3 例。以肺叶为分析单位,阅片者 1、2 利用双能量 CT 肺灌注成像均发现 21 个肺叶出现灌注缺损,两位阅片者联合发现 20 个肺叶有灌注缺损。两位阅片者诊断的一致性 Kappa 值为 0.918($P<0.001$),灌注缺损主要为分布于肺外带的楔形灌注减低区。结论:双能量 CT 能同时获得 CTPA 及肺灌注成像图像,可为 CTEPH 的诊断提供重要信息,可作为临床 CTEPH 疑似患者的首选检查方法。

【关键词】 慢性血栓栓塞性肺动脉高压; 肺栓塞; 双能量 CT; 体层摄影术, X 线计算机

【中图分类号】 R563.5; R814.42 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2016)09-0842-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.010

A clinical study of chronic thromboembolic pulmonary hypertension using dual-energy CT TANG Chun-xiang, ZHAO Yan-e, ZHANG Long-jiang, et al. Department of Medical Imaging, Jinling Hospital, Medical School of Nanjing University, Nanjing 210002, China

【Abstract】 **Objective:** To explore the manifestations dual-energy CT of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH). **Methods:** Dual-energy CT scan was performed in 13 patients with CTEPH confirmed by clinical evidence and cardiac ultrasound. Lung perfused blood volume (lung PBV) imaging was analyzed by two radiologists independently with pulmonary lobe as analysis unit on the number and location of perfusion defects of CTEPH. The results of CT pulmonary angiography (CTPA) were also analyzed and recorded. Kappa test was used to evaluate the consistency of detecting CTEPH between the two radiologists. **Results:** All 13 patients with chronic pulmonary emboli showed as irregular, eccentric, and mural filling defects along the pulmonary arteries. Pulmonary infarction was seen in one patient, "mosaic" sign in 6 cases, pleural effusion in 1 case, pulmonary trunk/aorta diameter ratio >1 (PA/AA >1) in 12 cases, and vena cava reflux in 3 cases. With lobe-based analysis, both readers found a total of 21 perfusion defects separately on dual-energy CT lung PBV imaging. Two readers jointly found 20 lesions when reading together. Kappa value was 0.918 ($P<0.001$). The perfusion defects were mostly located at the peripheral interface appeared as wedge shaped decreased perfusion areas. **Conclusion:** Dual-energy CT can simultaneously obtain both CTPA and lung PBV images, which can facilitate the diagnosis of CTEPH and can be a preferred modality for patients with clinically suspected CTEPH.

【Key words】 Chronic thromboembolic pulmonary hypertension; Pulmonary embolism; Dual energy CT; Tomography, X-ray computed

慢性血栓栓塞性肺动脉高压(chronic thromboembolic pulmonary hypertension, CTEPH)是指肺栓塞首发或复发后肺动脉高压 >25 mmHg^[1],其特征是机化的血栓阻塞肺动脉、小动脉病以及越来越高的肺血管阻力。CTEPH 并不罕见,急性肺栓塞后 CTEPH 的发病率为 0.5%~3.8%^[2-4]。CTEPH 临床表现缺乏特异性,易发生漏诊和误诊。影像学检查在

CTEPH 的诊断中至关重要,但有关 CTEPH 的影像学表现国内文献报道较少。双能量 CT 因能同时提供解剖及功能信息,在肺栓塞诊断中的应用越来越广泛,但关于 CTEPH 的研究鲜有报道^[5-8]。本文回顾性分析 13 例 CTEPH 患者的 CT 资料,探讨其双能量 CT 影像学表现,旨在为临床诊断 CTEPH 提供一种新思路。

材料与方法

1. 研究对象

搜集本院 2010 年 1 月—2016 年 6 月经临床及心

作者单位:210002 南京,南京军区南京总医院/南京大学附属金陵医院医学影像科(唐春香、赵艳娥、张龙江、周长圣、卢光明);210002 南京,江苏省省直机关医院肾内科(陈燕)

作者简介:唐春香(1988—),女,安徽人,硕士,主治医师,主要从事心血管影像研究工作。

通讯作者:卢光明, E-mail: ejr. luguangming@vip. 163. com; 陈燕, E-mail: chenyanw@ sina. com

脏超声证实的 18 例 CTEPH 患者的 CT 资料,其中 3 例为非双能量 CT 扫描、1 例患有风湿性瓣膜病继发心功能不全、1 例有慢性肺阻塞性疾病而被排除,其余 13 例患者全部进行了双能量 CT 扫描。13 例临床资料完整的病例中,男 4 例,年龄 51~73 岁,平均(61.3±9.1)岁;女 9 例,年龄 38~76 岁,平均(56.0±14.5)岁。

2. 检查方法及图像分析

所有病例扫描均在德国 Siemens Somatom Definition 或 FLASH CT 机上进行。首先进行常规胸部平扫,扫描范围为胸廓入口至膈肌水平,包括整个肺野。平扫完成后直接进行增强 CT 双能量模式扫描。扫描参数:探测器准直 64×0.6 mm 或 128×0.6 mm,机架旋转时间 0.33 s 或 0.28 s,螺距为 0.5 或 1.0,2 个 X 线管的管电压分别为 80、140 kV 或 100、140 kV,有效管电流分别为 50/213 mAs 或 38/89 mAs,双能量成分选择为 0.3 或 0.6。对比剂应用德国先灵公司生产的碘普胺(300 mg I/mL),采用双筒高压注射器以 3.5 mL/s 流率(剂量 50~70 mL)经肘静脉注射,随后以 3.5 mL/s 流率注射生理盐水 20 mL,尽量减少腔静脉内残留的对比剂。延迟时间应用人工智能触发扫描系统确定,将兴趣区设在肺动脉主干,当其密度达到 100 HU 时,再延迟 4 s 自动开始扫描。扫描方向为头足方向,扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。

扫描完成后,原始数据被自动重建为 3 组层厚为 0.75 mm 的数据,即 80、140 kV (或 100、140 kV)及平均加权图像,双能量成分选择为 0.3 或 0.6,所有图像均被传至后处理工作站(Syngo MMWP VE40A; Siemens)。肺灌注成像采用肺血容量灌注成像(Lung perfused blood volume, Lung PBV)软件进行分析,选择肺灌注的伪彩色为灰阶 16 比特和正电子发射断层成像彩虹 16 比特,不同颜色代表不同的肺灌注情况,红色为高灌注,蓝色为低灌注,黑色为灌注缺损。正常的血流灌注图像是在重力基础上的两肺对称且分布均匀一致的红色或黄绿色。重力、周围线束硬化伪影及呼吸、心脏运动所致灌注异常均视为真阴性。

由两位放射科医师以肺叶为单位独立分析双能量 CT 灌注成像图像,重点分析肺栓塞的数目、位置,意见不一致时共同商定后达成一致。1 个肺叶内出现 1 个或多个肺灌注缺损计为阳性,无灌注缺损计为阴性。

由两位放射科医师共同分析 CTEPH 的 CT 及 CT 肺动脉血管成像(computed tomography pulmonary angiography,CTPA)表现。通过测量横轴面肺动脉主干及同层面主动脉最宽径比值(PA/AA)来判断肺动脉高压,诊断标准为当 PA/AA>1 时,视为肺动

脉高压^[9]。通过测量横轴面右心室及左心室最宽径比值(RV/LV)来判断是否存在右心功能不全,诊断标准:RV/LV>1 或肺动脉期上腔静脉/下腔静脉含对比剂^[10]。对比剂经上肢静脉注入者,观察下腔静脉有无返流,经下肢注入者,观察上腔静脉有无返流。

3. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件包进行统计学分析。定量资料用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,定性资料以率或百分数表示。以肺叶为分析单位,记录阅片者 1 和 2 发现异常灌注缺损肺叶的数目,利用 Kappa 检验分析两位阅片者间的一致性。Kappa 值<0.20 表示一致性差,Kappa 值为 0.20~0.40 表示一致性一般,Kappa 值为 0.40~0.60 代表一致性中等,Kappa 值为 0.60~0.80 表示一致性好,Kappa 值>0.80 表示一致性非常好。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1 临床资料

13 例患者中有肺栓塞病史者 4 例,活动后气喘 3 例,上腹或剑突下疼痛 2 例,余无明显不适。13 例均行心脏超声检查,肺动脉收缩压平均值为(61.6±19.5) mmHg(35.4~93.0 mmHg)。

2. 双能量 CT 表现

平扫 CT 征象:肺梗死 1 例、“马赛克”样表现 6 例(图 1)、胸腔积液 1 例,余 5 例 CT 平扫未见明显异常。所有 13 例患者均未见慢性阻塞性肺疾病征象(表 1)。

表 1 CTEPH 的 CT/CTPA 表现

CT/CTPA 表现	例(%)
“马赛克”征	6(46.2)
慢性血栓	13(100)
肺梗死	1(7.7)
胸腔积液	1(7.7)
PA/AA>1	12(92.3)
RV/LV>1	8(61.5)
腔静脉返流	3(23.1)

肺栓塞的 CTPA 表现:本组 13 例均为慢性肺栓塞(表 1),表现为血栓沿肺动脉内壁分布,与血管呈钝角,呈不规则的偏心性、附壁性充盈缺损(图 2),其中 11 例显示单侧或双侧肺动脉充盈缺损,内壁不光滑(图 3),其余 2 例表现为血管截断征象,未见明显栓子。3 例单侧受累肺动脉主干腔狭窄程度>75%。

肺动脉高压及心功能不全的 CT 征象:肺动脉主干增粗 12 例。本组病例肺动脉主干直径范围为 31.6~42.2 mm,平均为(35.0±3.3) mm。本组 13 例均采用上肢静脉注射法,观察到下腔静脉返流 3 例,3 例腔静脉返流患者的左或右肺动脉主干腔狭窄程度均>75%;横轴面 RV/LV>1 者 8 例(图 4)。

以肺叶为分析单位,阅片者 1、2 利用双能量 CT 灌注成像均发现 21 个肺叶出现异常灌注缺损,阅片者 1 联合阅片者 2 发现 20 个肺叶出现异常灌注缺损(表 2)。灌注缺损主要为分布于肺外带的楔形异常灌注区(图 5)。经 Kappa 检验,两位阅片者的一致性 Kappa 值为 0.918($P < 0.001$),表明一致性非常好。

表 2 两位阅片者发现的异常灌注缺损的肺叶个数 (个)

阅片者	左肺		右肺			总共
	上叶	下叶	上叶	中叶	下叶	
阅片者 1	3	4	5	3	6	21
阅片者 2	3	4	5	3	6	21
阅片者 1+2	2	4	5	3	6	20

注:Kappa 值=0.918, P 值<0.001。

讨论

本文分析了 CTEPH 患者的双能量 CT 表现,CTPA 直接显示了慢性肺动脉血栓的特点、肺实质的变化,灌注成像间接显示了肺的功能信息,进一步提示 CTEPH 的存在。

本研究发现“马赛克”征是 CTEPH 肺实质影像征象中最常见的,它是由肺血管管径变细并且无空气滞留所形成的边界清楚的低密度区,同时夹杂着邻近正

常或相对高密度的区域。低密度区是远端阻塞的血管或小血管疾病所致的肺部低灌注区,高密度区是血流重新分布及侧支循环的血流代偿性增加所致^[11]。CTEPH 的“马赛克征”在肺窗上表现的高、低密度区是按肺段、亚段分布的,也有特征性地分布在肺野外周或肺门周围的高密度区,但这更常见于原发性肺动脉高压。CTEPH 的其他征象,如肺梗死,多发于肺下叶,典型表现为以胸膜为基底的楔形灶,多提示 CTEPH 患者肺动脉内膜剥脱术后效果较差,不适合手术治疗。

利用 CTPA 诊断 CTEPH 需观察血管内机化的附壁血栓、血管呈网状、带状结构或血管管径突然变窄^[12],机化的血栓常平行于血管管腔,类似于血管壁增厚,并可致血管内膜表面不规则。慢性血栓表现为血管外周或与血管壁呈钝角的新月形充盈缺损。带状及网状充盈缺损表现为对比剂包绕的细线征,这些征象常见于肺叶或肺段动脉,很少见于主肺动脉,而 CTPA 很难检测亚段以下肺动脉的情况^[13]。本研究显示慢性血栓均位于亚段以上肺动脉,因此 CTPA 检出率高,而对亚段以下肺动脉的慢性肺栓塞的诊断存在很大挑战。利用双能量 CT 能够提高慢性外周性肺动脉

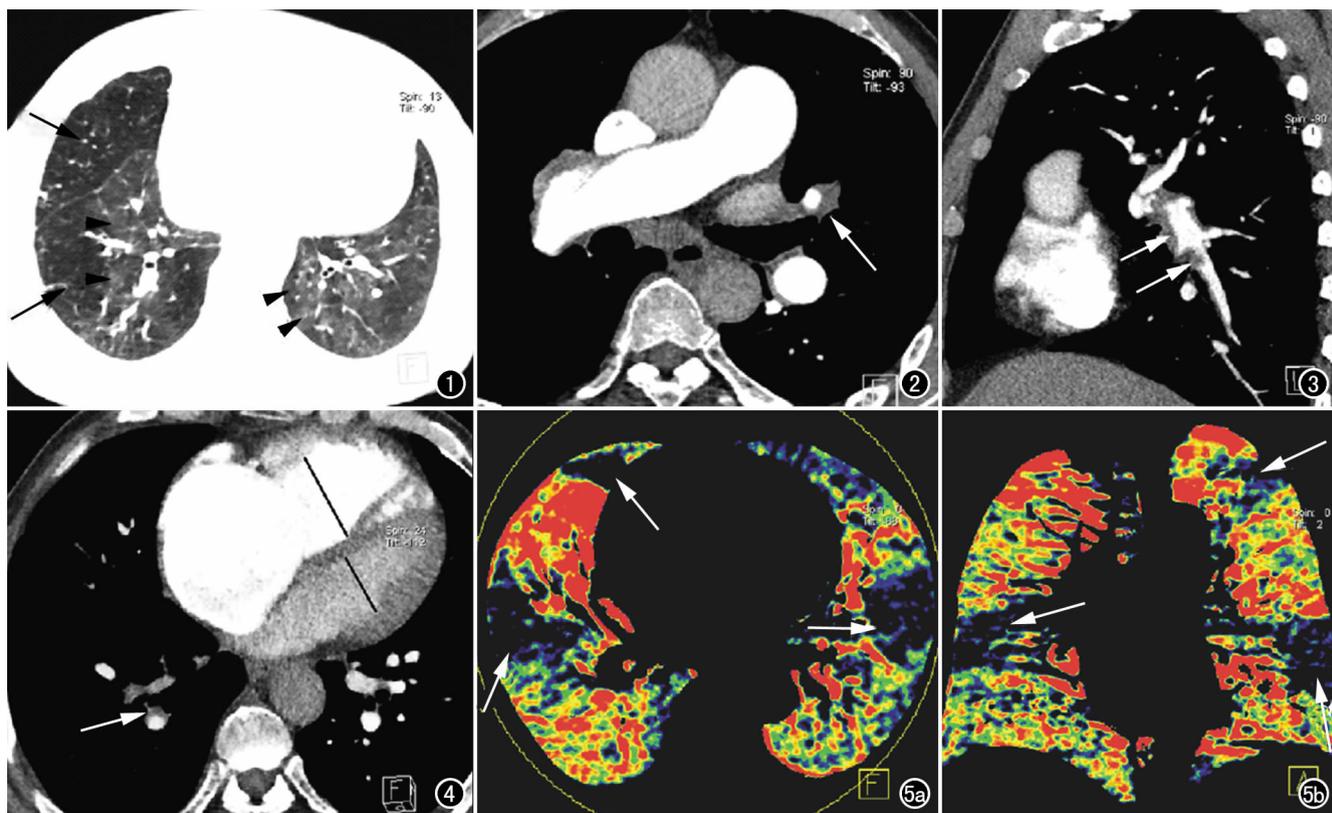


图 1 女,72岁,反复上腹部疼痛伴胸闷10年。横轴面CT平扫肺窗图像示高密度(箭)、低密度(箭头)不均匀区,即“马赛克”征。图2男,51岁,无明显不适,横轴面CTPA示左肺上叶肺动脉附壁血栓(箭)。图3男,59岁,无明显不适,多平面重组图像示动脉内壁不规则(箭)。图4男,62岁,活动后气喘1年余。横轴面图像测量右心室最宽径与左心室最宽径的比值,同时可见右下肺动脉分支附壁血栓(箭)。图5男,59岁,无明显不适。a)横轴面双能量CT Lung PBV示两肺多发灌注缺损区(箭);b)冠状面双能量CT Lung PBV示两肺多发灌注缺损区(箭)。

栓子的检出率^[8]。另外,本研究还显示 CT 能直接反映 CTEPH 的肺动脉高压,表现为肺动脉主干管径增粗。正常人肺动脉干的直径范围是 25~36 mm^[14]。肺动脉直径与主动脉直径比值(PA/AA)>1 是诊断肺动脉高压的可靠指标,尤其是重度肺动脉高压,因为肺动脉压力的增加可致心输出量的减少,导致主动脉变细^[9]。

基于双能量 CT 的 CTPA 还能同时提供 CTEPH 患者的心脏信息,反映右心室负荷。在横轴面 CT 图像上测得的右心室、左心室最宽径比值是评价右心功能不全较为可靠的指标。Groves 等^[15]发现在 CTPA 中对对比剂返流入下腔静脉诊断三尖瓣返流的特异度及敏感度分别为 100%和 90%,并发现返流程度与右心插管所致的肺动脉压力关系密切。另外,对比剂返流入肝静脉较流入下腔静脉更能提示重度肺动脉高压的诊断。目前关于 CTEPH 的最大临床难题在于早期诊断。一些研究已经证实双能量 CT 在显示 CTEPH 所致的灌注缺损与核素肺灌注显像之间有很好的 consistency,是评估 CTEPH 所致肺灌注缺损和解剖学改变的一站式检查方法^[7-8],已有基于动物模型的双能量 CT 研究证实了这一结论^[9]。双能量 CT 一次扫描能够同时获得解剖及功能信息,不仅能够显示慢性肺动脉栓子的信息,还能提供全肺的灌注信息。笔者认为当患者存在肺动脉高压征象但未找到明确血栓,只观察到血管不均匀狭窄时,若双能量 CT 灌注成像显示相应肺叶灌注缺损,则提示存在 CTEPH 的可能性较大。本研究中阅片者 1 和 2 利用双能量 CT 灌注成像诊断 CTEPH 的一致性非常高,尽管在使用软件过程中会存在假阳性和假阴性,但对灌注软件有一定熟悉度的情况下便可辨识。

本研究存在以下不足:①样本量小,只纳入了 13 例;②并未评价 CTEPH 栓塞指数及右心功能,在以后的研究中需增加病例进行进一步分析;③双能量 CT 肺灌注成像软件存在一定的假阳性及假阴性,如重力、对比剂及呼吸运动伪影所致的假阳性及假阴性,需要正确地认识并识别。

总之,双能量 CT 能同时获得 CT 肺动脉成像及肺灌注图像,可为 CTEPH 的诊断提供重要信息,可作为临床 CTEPH 疑似患者的首选检查方法。

参考文献:

- [1] Haythe J. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a review of current practice[J]. Prog Cardiovasc Dis, 2012, 55(2): 134-143.
- [2] Miniati M, Monti S, Bottai M, et al. Survival and restoration of

pulmonary perfusion in a long-term follow-up of patients after acute pulmonary embolism[J]. Medicine (Baltimore), 2006, 85(5): 253-262.

- [3] Klok FA, van Kralingen KW, van Dijk AP, et al. Prospective cardiopulmonary screening program to detect chronic thromboembolic pulmonary hypertension in patients after acute pulmonary embolism[J]. Haematologica, 2010, 95(6): 970-975.
- [4] Berghaus TM, Barac M, von Scheidt W, et al. Echocardiographic evaluation for pulmonary hypertension after recurrent pulmonary embolism[J]. Thromb Res, 2011, 128(6): 144-147.
- [5] Nakazawa T, Watanabe Y, Hori Y, et al. Lung perfused blood volume images with dual-energy computed tomography for chronic thromboembolic pulmonary hypertension: correlation to scintigraphy with single-photon emission computed tomography [J]. J Comput Assist Tomogr, 2011, 35(5): 590-595.
- [6] Hoey ET, Mirsadraee S, Pepke-Zaba J, et al. Dual-energy CT angiography for assessment of regional pulmonary perfusion in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: initial experience[J]. AJR, 2011, 196(3): 524-532.
- [7] Tang CX, Yang GF, Schoepf UJ, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension: comparison of dual-energy computed tomography and single photon emission computed tomography in canines[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(2): 498-506.
- [8] 唐春香, 张龙江, 韩宗宏, 等. 慢性血栓栓塞性肺动脉高压动物模型建立及其双能量 CT 表现[J]. 中华放射学杂志, 2015, 49(9): 708-712.
- [9] Chang SM, Lin CC, Hsiao SH, et al. Pulmonary hypertension and left heart function: insights from tissue Doppler imaging and myocardial performance index [J]. Echocardiography, 2007, 24(4): 366-373.
- [10] Revel MP, Faivre JB, Remy-Jardin M, et al. Pulmonary hypertension: ECG-gated 64-section CT angiographic evaluation of new functional parameters as diagnostic criteria[J]. Radiology, 2009, 250(2): 558-566.
- [11] Remy-Jardin M, Duhamel A, Deken V, et al. Systemic collateral supply in patients with chronic thromboembolic and primary pulmonary hypertension: assessment with multi-detector row helical CT angiography[J]. Radiology, 2005, 235(1): 274-281.
- [12] Castaner E, Gallardo X, Ballesteros E, et al. CT diagnosis of chronic pulmonary thromboembolism[J]. Radiographics, 2009, 29(1): 31-50.
- [13] 唐春香, 张龙江, 卢光明. 慢性血栓栓塞性肺动脉高压 CT 研究与进展[J]. 国际医学放射学杂志, 2012, 35(3): 233-236.
- [14] Kim NH, Delcroix M, Jenkins DP, et al. Chronic thromboembolic pulmonary hypertension[J]. J Am Coll Cardiol, 2013, 62(25 Suppl): 92-99.
- [15] Groves AM, Win T, Charman SC, et al. Semi-quantitative assessment of tricuspid regurgitation on contrast-enhanced multidetector CT[J]. Clin Radiol, 2004, 59(8): 715-719.

(收稿日期:2016-07-01 修回日期:2016-07-22)