

双能量 CT 评估急性肺栓塞治疗疗效

杨静, 张龙江, 唐春香, 李颢, 卢光明

【摘要】 目的:探讨双能量 CT 在急性肺栓塞治疗疗效评估中的价值。**方法:**30 例急性肺栓塞患者纳入本研究, 所有患者在治疗前后均进行了双能量 CT 检查。比较治疗前后肺动脉栓子数目、肺动脉阻塞指数、右心室/左心室直径比值、肺动脉主干/升主动脉直径比值、双能量 CT 肺灌注缺损积分、全肺及左右肺的强化值和相对强化率。**结果:**30 例患者中 29 例在治疗后肺动脉内栓子完全($n=18$)或部分缓解($n=11$), 1 例患者肺栓塞加重。双能量 CT 肺灌注成像显示治疗后 5 例患者无灌注缺损, 25 例患者有不同程度灌注缺损。30 例患者治疗前后肺栓塞的位置、数目、肺动脉阻塞积分和双能量 CT 肺灌注缺损评分差异有统计学意义($P<0.05$), 而肺动脉主干/同层面升主动脉直径比值、右心室/左心室直径比值、全肺及左右肺的强化值和相对强化率差异无统计学差别($P>0.05$)。**结论:**双能量 CT 可用于急性肺栓塞治疗疗效的评估, 可为临床治疗方案的制定及调整提供重要信息。

【关键词】 急性肺栓塞; 双能量 CT; 治疗疗效; 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)09-0817-04

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2016.09.005

Dual-energy CT evaluation of therapeutic efficacy in acute pulmonary embolism YANG Jing, ZHANG Long-jiang, TANG Chun-xiang, et al. Department of Medical Imaging, Xi'an 141 Hospital, Xi'an 710089, China

【Abstract】 Objective: The purpose of this study was to analyze the value of dual-energy CT in evaluating the treatment efficacy in patients with acute pulmonary embolism. **Methods:** 30 patients with acute pulmonary embolism were included in this study. All patients underwent dual-energy CT examinations before and after treatment. We analyzed the location and number of the clots, pulmonary artery obstruction index, right ventricle/left ventricle ratio, pulmonary trunk/ascending aorta ratio, dual-energy CT perfusion defect score, whole and right/left lung enhancement and relative enhancement ratio before and after treatment. Paired t -test or chi-square test was used to analyze the differences of the indexes. **Results:** Of 30 patients with pulmonary embolism, 29 patients had complete ($n=18$) or partial ($n=11$) resolution of clots, one patient had recurrent pulmonary embolism 4 months after treatment. Dual-energy CT lung perfusion imaging showed that 25 patients had different degrees of perfusion defects and 5 patients were negative of perfusion defects. The differences were found between the location and number of clots, pulmonary artery obstruction index, and dual-energy CT perfusion defect score before and after treatment ($P<0.05$), while no differences were observed for other indexes ($P>0.05$). **Conclusion:** Dual-energy CT can be used to evaluate the treatment effectiveness of acute pulmonary embolism, which is helpful for the adjustment of clinical treatment plan.

【Key words】 Acute pulmonary embolism; Dual-energy CT; Therapeutic efficacy; Tomography, X-ray computed

肺栓塞是严重危害人类健康的常见病、危重病。影像学检查在肺栓塞的检测和预后评估以及治疗效果监测中均起到非常重要的作用, 尤其是近年来推出的双能量 CT 新技术能在一次检查期间同时提供全肺的解剖和功能信息, 成为肺栓塞评估的一站式检查技术^[1,2]。利用双能量 CT 评估肺栓塞的研究多集中于慢性肺栓塞的检测和严重性评估方面^[3,4], 对肺栓塞治疗效果进行评估的研究并不多见^[5]。本研究旨在分析双能量 CT 在急性肺栓塞治疗效果评估中的价值。

材料与方法

1. 病例资料

2013 年 3 月—2015 年 9 月共 30 例急性肺栓塞患者, 在治疗前后分别进行了肺部双能量 CT 检查, 这些患者被纳入本研究。30 例患者中男 24 例, 女 6 例, 年龄 13~69 岁, 平均年龄(39.7 ± 19.8)岁。27 例为慢性肾病合并肺栓塞, 2 例为脑出血合并肺栓塞, 1 例为卵巢高级别浆液性乳头状癌合并肺栓塞。肺栓塞治疗前后 CT 检查的平均间隔时间为(71.3 ± 56.0)d。所有患者或其家属在 CT 检查前均签署了知情同意书。

2. 检查方法

所有病例在德国 Siemens Somatom Definition 和 Definition FLASH CT 扫描仪上完成双能量 CT 检

作者单位: 710089 西安, 西安一四一医院医学影像科(杨静); 210002 南京, 南京军区南京总医院/南京大学医学院附属金陵医院医学影像科(张龙江、唐春香、李颢、卢光明)

作者简介: 杨静(1974—), 女, 陕西富平人, 主治医师, 主要从事心血管影像学研究工作。

通讯作者: 张龙江, E-mail: kevinzhj@163.com

查。首先进行常规胸部 CT 平扫,扫描范围为胸廓入口到膈肌水平,平扫完成后进行增强 CT 双能量模式的扫描。扫描参数:准直器宽度 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。对比剂采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(总量 50~70 mL)经肘前静脉注射,随后以 3.5 mL/s 流率注射生理盐水 20 mL,以减少腔静脉内残留对比剂造成的线束硬化伪影。延迟时间应用人工智能触发扫描系统确定,将兴趣区设于肺动脉主干,当其密度达到 100 HU 时,延迟 4 s 后扫描自动开始。扫描方向为头足方向,扫描范围自胸廓入口至膈肌水平。

3. 图像重建和分析

CT 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:80、140 kV(或 100、140 kV)及平均加权图像,平均加权图像的双能量成分选择为 0.3(第一代双源 CT)或 0.6(第二代双源 CT),即 30%(60%)的图像信息来自 80 kV,70%(40%)的图像信息来自 140 kV。所有图像均被传至后处理工作站(Syngo MMWP VE40A, Siemens)进行图像后处理。

由 1 位有经验的放射科医师在平均加权对比增强 CT 图像上评价或测量所有 30 例患者治疗前后(共 60 次检查)所显示的肺栓塞的位置、数目、肺动脉阻塞积分、肺动脉主干直径、同层面升主动脉直径、右心室和左心室直径。肺栓塞的位置被分为中央和外周型,叶动脉及以上肺动脉的栓子为中央型肺栓塞,段动脉以下为外周型肺栓塞。肺栓塞的数目被计为每一个充盈缺损的数目,当一个充盈缺损连续延伸到下一级肺动脉分支时被视为 1 个栓子。肺动脉阻塞评分采用 Qanadli 评分法^[6],为阻塞肺段与阻塞程度的乘积,总的肺段数为 20 段(左、右肺共 20 个肺段,其中两肺上叶分别有 3 段,两肺下叶分别有 5 段,右肺中叶、左肺舌叶各 2 段)。将肺动脉栓塞程度分为 3 级:无栓塞为 0 分,部分栓塞为 1 分,完全栓塞为 2 分;因此最高肺动脉阻塞评分为 40 分。当亚段肺动脉发生完全栓塞时为该肺段部分栓塞,评分为 1 分,该肺段总分不超过 2 分。在横轴面图像上(房室瓣水平)测量室间隔到左、右心室游离壁内侧最大距离即左、右心室最大短轴直径,计算右心室/左心室直径比。当房室瓣不在同一层面时,则分别在左、右房室瓣水平测量左、右心室最大短轴直径,再计算右心室/左心室直径比。

双能量 CT 肺灌注图像的分析采用肺血容量灌注成像(Lung perfused blood volume, Lung PBV)软件,

选择肺灌注图像的伪彩色为灰阶 16 比特和正电子发射体层成像彩虹 16 比特,用不同的伪彩色代表不同的肺灌注状态,红色为高灌注,蓝色为低灌注,黑色为灌注缺损。正常的双能量 CT 肺灌注图像是重力基础上的两肺对称且分布均匀一致的红或黄绿色。重力、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。采用 Chae 等^[7]提出的双能量 CT 肺灌注缺损积分法,该算法将两肺各分为 10 段,每个肺段的灌注缺损程度分为 3 级:正常灌注、灌注轻度减少、灌注明显减少或灌注缺损,分别赋予 0、1、2 分,最高评分为 40 分。肺强化值和相对强化率的计算也采用 Lung PBV 软件,在该软件中点击按钮“start/stop”,在肺动脉主干选择兴趣区的 CT 值作为基线,最后点击“lung isolation”,软件会自动计算出全肺实质强化值与基线的相对强化值^[7]。肺动脉主干兴趣区的位置和大小尽量保持一致。

4. 统计学分析

采用 SPSS 20.0 软件包进行统计学分析。定量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,定性资料以率或百分数表示。对定量资料首先分析数据是否符合正态分布,符合正态分布的定量数据采用配对 *t* 检验进行比较;对不符合正态分布的数据利用非参数检验进行比较、分析。分别比较肺栓塞的数目、肺动脉阻塞积分、肺动脉主干/同层面升主动脉直径比值、右心室/左心室直径比值、双能量 CT 肺灌注缺损评分、全肺及左右肺的强化值和相对强化率在肺栓塞治疗前后的差异。定性资料(肺栓塞的位置)的比较采用配对卡方检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

30 例患者中 29 例治疗后肺动脉内栓子得到完全($n=18$)或部分缓解($n=11$)(图 1),1 例患者在治疗 4 个月后肺栓塞加重。双能量 CT 肺灌注评分显示治疗前 29 例肺栓塞患者均有不同程度的灌注缺损,1 例患者无肺灌注缺损;治疗后 5 例患者无肺灌注缺损,25 例患者有不同程度的肺灌注缺损。30 例患者治疗前后肺栓塞的位置、数目、肺动脉阻塞积分、肺动脉主干直径、同层面升主动脉直径、右心室和左心室直径比值、双能量 CT 肺灌注缺损评分、全肺、左右肺的强化值和相对强化率的变化见表 1,统计学分析显示治疗前后肺动脉栓子的位置、数目、肺动脉阻塞评分和灌注缺损数目的差异有统计学意义($P < 0.05$),而其他参数治疗前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。

讨 论

双能量 CT 肺动脉成像能在一次对比增强检查期

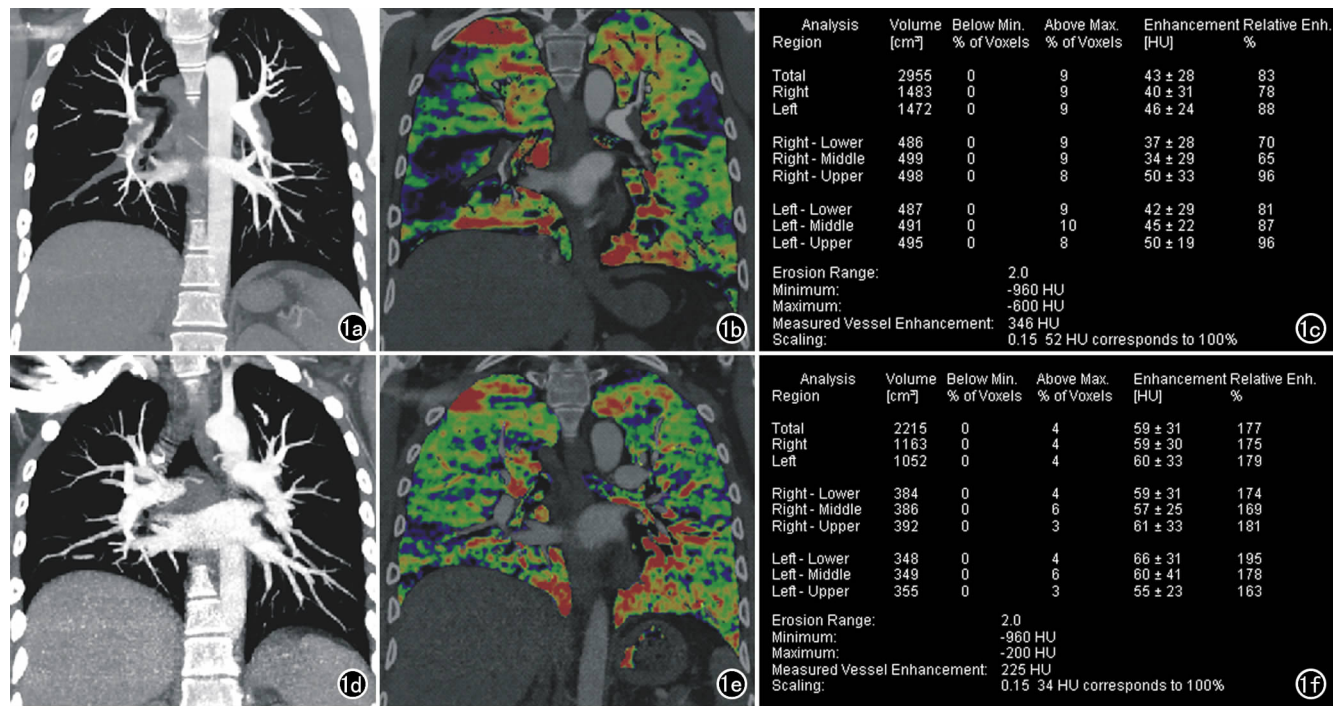


图 1 肺栓塞治疗前后的双能量 CT 肺动脉成像。a) 治疗前的双能量 CT 肺动脉成像图像(最大密度投影图像); b) 治疗前肺灌注图像; c) 治疗前定量肺灌注参数图示双肺动脉多发充盈缺损,双肺多发灌注缺损,两肺强化值及相对强化率普遍降低; d) 治疗后的双能量 CT 肺动脉成像图像(最大密度投影图像); e) 治疗后肺灌注图像; f) 治疗后定量肺灌注参数图,CT 肺动脉成像未见明显异常,但灌注图像见右下肺部分灌注降低,两肺强化值及相对强化率较治疗前明显升高。

表 1 30 例肺栓塞患者治疗前后各测量值的比较				
参数	治疗前	治疗后*	统计值	P 值
栓子位置(例)				
中央	17	6	1	0.031
外周	13	6	1	0.003
栓子数目(个)	3.9±4.4	0.7±1.0	-4.447 [#]	0.001
肺动脉阻塞评分(分)	8.2±5.9	1.8±4.5	-4.405 [#]	0.001
直径比值				
肺动脉/主动脉	0.8±1.6	0.8±0.1	-1.812	0.080
右心室/左心室	0.9±0.3	0.8±0.1	-0.595 [#]	0.552
灌注缺损评分(分)	8.3±6.8	5.4±5.5	-2.543 [#]	0.011
强化值 (HU)				
全肺	42.2±9.4	45.3±13.0	-1.051	0.302
左肺	41.0±10.4	45.1±13.7	-1.260	0.218
右肺	43.1±9.7	45.3±13.4	-0.731	0.471
相对强化率(%)				
全肺	114.2±30.8	108.5±37.6	0.703	0.487
左肺	110.5±34.4	107.3±37.7	0.399	0.693
右肺	116.9±35.7	109.7±38.6	0.874	0.389

注: * 治疗后 18 例患者肺动脉内栓子消失; [#] 为配对卡方检验。

间同时提供肺动脉栓子和全肺的静态灌注状态,已成为目前诊断肺栓塞的首选影像学检查方法。本研究结果提示利用双能量 CT 提供的多个参数能够很好地评价肺栓塞的治疗效果。

双能量 CT 提供的肺动脉和肺实质等信息对肺栓塞治疗疗效的评估非常重要。利用双能量 CT 提供的肺动脉信息对于肺栓塞疗效的评估仍是最重要的方法,本研究结果显示无论是肺动脉栓子数目还是肺动脉阻塞评分治疗前后差异均有统计学意义($P < 0.05$)。应该注意的是,治疗后是否残留肺动脉栓子应

密切观察,这些残留的栓子若不溶解的话很可能机化成为慢性肺栓塞或者进一步发展成为慢性血栓栓塞性肺动脉高压。本研究显示,治疗后 18 例患者肺动脉内栓子完全消失,11 例患者肺动脉栓子部分消失,1 例肺栓塞加重,在对侧肺动脉出现了新的栓子,提示治疗无效。以往研究已经证实,双能量 CT 所提供的肺灌注信息对于急慢性肺栓塞的检出有重要价值^[1-2,8-11]。本研究结果显示,利用肺灌注缺损评分能够较好地评估治疗疗效,但是利用肺灌注缺损评分评估治疗疗效与利用肺动脉内栓子评估治疗疗效并不一致,在利用肺动脉栓子评估治疗效果时发现 18 例患者肺动脉栓子完全缓解,而利用肺灌注图像评估时仅有 5 例患者肺灌注完全正常,可能的原因是:①肺灌注图像对微小的外周性肺栓塞的显示要优于常规 CT 肺动脉成像^[1,2];②肺灌注状态受到一些因素,例如重力、呼吸和心脏运动、线束硬化伪影以及阈值调节等的影响,有可能造成观察者的误判。本研究利用定量的双能量 CT 肺灌注成像参数,如全肺、左右肺强化值和相对强化率显示肺栓塞治疗前后的差异,结果显示在治疗前后这些参数的差异均无统计学意义。Nagayama 等^[5]的研究显示肺栓塞治疗后全肺平均强化值明显降低,但同时也发现 2 例患者的全肺强化值在治疗前后未见明显变化;造成这种差异的原因主要在于肺栓塞的严重程度不同,肺动脉阻塞程度轻者不会影响到全肺强化值。本

组患者中 13 例为外周性肺栓塞,肺栓塞患者的肺动脉阻塞指数仅为 8.2 ± 5.9 ,这可能是造成肺栓塞治疗前后全肺平均强化值和相对强化率差异不明显的主要原因。

本研究有以下不足:①纳入的样本量较少且多为慢性肾病患者,慢性肾病合并的肺栓塞多为无症状的低危肺栓塞,这可能会影响对全肺强化值和相对强化率的分析,纳入更多高危肺栓塞患者进一步分析其价值是有必要的;②本研究使用了不同的双源 CT 设备而非同一种 CT 设备进行扫描,扫描条件不一致可能造成肺强化值测量上的误差;③本研究中肺栓塞治疗后的观察时间也不相同,在治疗后不同时间点进行观察有助于分析肺栓塞治疗后肺动脉栓子和肺灌注的动态变化过程。

综上所述,本研究结果提示双能量 CT 提供的多个参数,尤其是肺动脉栓子数目、肺动脉阻塞评分以及肺灌注缺损评分能够很好地评价急性肺栓塞的治疗效果。

参考文献:

- [1] Lu GM, Zhao Y, Zhang LJ, et al. Dual-energy CT of the lung[J]. AJR, 2012, 199(5 Suppl): S40-S53.
- [2] Zhang LJ, Lu GM, Meinel FG, et al. Computed tomography of acute pulmonary embolism: state-of-the-art[J]. Eur Radiol, 2015, 25(9): 2547-2557.
- [3] Sakamoto A, Sakamoto I, Nagayama H, et al. Quantification of lung perfusion blood volume with dual-energy CT: assessment of the severity of acute pulmonary thromboembolism[J]. AJR, 2014, 203(2): 287-291.

- [4] Tang CX, Zhang LJ, Han ZH, et al. Dual-energy CT based vascular iodine analysis improves sensitivity for peripheral pulmonary artery thrombus detection: an experimental study in canines[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(12): 2270-2278.
- [5] Nagayama H, Sueyoshi E, Hayashida T, et al. Quantification of lung perfusion blood volume (lung PBV) by dual-energy CT in pulmonary embolism before and after treatment: preliminary results[J]. Clin Imaging, 2013, 37(3): 493-497.
- [6] Qanadli SD, El Hajjam M, Vieillard-Baron A, et al. New CT index to quantify arterial obstruction in pulmonary embolism: a comparison with angiographic index and echocardiography[J]. AJR, 2001, 176(6): 1415-1420.
- [7] Chae EJ, Seo JB, Jang YM, et al. Dual-energy CT for assessment of the severity of acute pulmonary embolism: pulmonary perfusion defect score compared with CT angiographic obstruction score and right ventricular/left ventricular diameter ratio[J]. AJR, 2010, 194(3): 604-610.
- [8] 卢光明, 张龙江. 双能量 CT 临床应用指南[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 328-333.
- [9] 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.
- [10] Sueyoshi E, Tsutsui S, Hayashida T, et al. Quantification of lung perfusion blood volume (lung PBV) by dual-energy CT in patients with and without pulmonary embolism: preliminary results[J]. Eur J Radiol, 2011, 80(3): e505-e509.
- [11] Meinel FG, Graef A, Bamberg F, et al. Effectiveness of automated quantification of pulmonary perfused blood volume using dual-energy CTPA for the severity assessment of acute pulmonary embolism[J]. Invest Radiol, 2013, 48(8): 563-569.

(收稿日期: 2016-07-06)

欢迎订阅 2016 年《放射学实践》

《放射学实践》是由国家教育部主管,华中科技大学同济医学院主办,与德国合办的全国性影像学学术期刊,创刊至今已 31 周年。2015 年 6 月,《放射学实践》杂志入选北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。这是继 1999, 2008 年之后的第 3 次入选临床医学/特种医学类核心期刊。

本刊坚持服务广大医学影像医务人员的办刊方向,关注国内外影像医学的新进展、新动态,全面介绍 X 线、CT、磁共振、介入放射及放射治疗、超声诊断、核医学、影像技术学等医学影像方面的新知识、新成果,受到广大影像医师的普遍喜爱。

本刊为国家科技部中国科技论文核心期刊、中国科学引文数据库统计源期刊,在首届《中国学术期刊(光盘版)检索与评价数据规范》执行评优活动中,被评为《CAJ—CD 规范》执行优秀期刊。

主要栏目:论著、继续教育园地、专家荐稿、研究生展版、图文讲座、本刊特稿、实验研究、传染病影像学、影像技术学、外刊摘要、学术动态、请您诊断、病例报道、知名产品介绍、信息窗等。

本刊为月刊,每册 15 元,全年定价 180 元。

国内统一刊号: ISSN 1000-0313/CN 42-1208/R

邮政代号: 38-122

电话: (027) 83662875 传真: (027) 83662887

E-mail: fsxsjzz@163.com 网址: http://www.fsxsj.net

编辑部地址: 430030 武汉市解放大道 1095 号 同济医院《放射学实践》编辑部