

双源双能量 CT 在肺栓塞中的应用

路莉, 张龙江 综述 卢光明 审核

【中图分类号】R814.42; R563.5 【文献标识码】A 【文章编号】1000-0313(2011)08-0899-03

肺栓塞(pulmonary embolism, PE)是严重危害人类健康的常见病、多发病,由于绝大多数患者临床症状不典型,也缺乏特异的实验室检查手段,因此早期诊断并随即给予抗凝、溶栓治疗是提高抢救成功率、改善预后的关键。对其诊断常依赖影像学检查,常规 CT 仅提供解剖学信息,而双源双能量 CT(dual energy computed tomography, DECT)可同时提供全肺解剖、灌注及通气信息,为肺栓塞提供可靠有利的诊断依据。自 Johnson 等^[1]首次报道双源 DECT 的初步应用以来,其逐步成为 CT 研究领域内的一个热点^[2,3]。本文综述双源 DECT 在肺栓塞中的应用及其进展。

双源 DECT 基本原理及相关后处理技术

1. 基本原理

双源 DECT 是利用双源 CT 相互垂直的 2 个球管发出的 2 种不同能量的射线进行同步螺旋扫描,通过探测器接受后对不同能量下所采集的各种密度物质的衰减信息进行分析的一种新的 CT 成像方法^[4,5]。在 CT 肺动脉成像(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)扫描中,碘剂一般作为常规对比剂。对碘而言,在低管电压 CT 技术中其光电效应和 K 边缘效应的增加明显提高了 CT 值。碘的 CT 值在 80 kV 成像时较 140 kV 时增加 80%^[6]。利用 DECT,通过比较 2 种不同能量每个体素的 CT 值可以鉴别不同原子序数的物质。比如,碘在 2 种能量条件下的线性衰减系数有较大差别,而钙化或气体的线性衰减系数的差别则比较小,由此可以提取出碘的成分,获得肺灌注成像及去骨后肺动脉图像^[7]。

2. 相关后处理技术

目前在肺部主要应用的双能量 CT 后处理软件主要为肺灌注注血容量成像软件(perfused blood volume, PBV)、双能量肺血管分析软件(Lung vessels),自动化去骨及虚拟平扫技术。PBV 软件是目前应用最多的评价肺灌注的软件,它利用 3 种成分(空气、软组织和碘)解析方法进行分析^[8]。由于碘在高低千伏时 X 线衰减明显不同,而空气和软组织则没有明显的变化,从而可提取出碘对比剂的信号。利用该软件可获得 3 个系列的图像,即解剖图像、碘图和两者的融合图像。碘图提供了靶器官碘对比剂分布的信息,融合图像则可以同时显示靶器官碘的分布和相应的解剖信息。双能量肺血管分析软件,利用各种物质低和高千伏的 CT 值相对于空气(-1000 HU)的比值反映物质碘含量。利用体部去骨软件还可以获得自动化去骨的肺动脉图像。双能量虚拟平扫图像可以显示因长期慢性肺动脉高压所致的慢性栓子内及血管壁的钙化。

在肺栓塞中的应用

1. 80 kVp 的优势

一次 DECT 扫描可常规获得 80 kVp、140 kVp 和平均加权图像三个系列的图像。默认的平均加权图像是将 80 kVp 和 140 kVp 系列的图像按照 3:7 的比例进行融合而获得的。放射科医师可按照患者个体情况(如不同体质指数、血流动力学改变等)来选择不同管电压 CT 图像进行阅读,对体质指数正常者可选择 80 kVp 图像以提供更高的肺动脉强化值和更明显的栓子显示,对于肥胖患者选择 140 kVp 图像以增加图像对比,这样有助于提高诊断自信,降低不能诊断的图像概率^[9,10]。80 kVp 图像可以得到较高的对比噪声比,提示其在外周性肺动脉栓子的检测中有重要临床意义^[11], Remy-Jardin 等^[12]研究显示,相比于 120 kVp 图像及 140 kVp 图像,80 kVp 图像能更好的显示肺动脉栓子。此外,利用单源 CT 80 kVp 管电压进行肺动脉 CTA 检查相比于常规 120 kVp 管电压而言,还可以降低患者所接受的辐射剂量、降低对比剂使用量,这在孕妇、年轻女性、肾功能较差的患者中有重要的意义^[13-15]。

2. 双能量 CT 对急性肺栓塞的诊断及预后评估

DECT 肺灌注图像不仅可以显示急性肺动脉栓塞,同时也可以对慢性栓塞进行评估^[16]。急性肺栓塞的 CTPA 表现为管径正常或增宽的肺动脉完全或不完全被栓子闭塞,表现为血管截断征或非闭塞的腔内充盈缺损位于血管中央,周围有对比剂环绕,即“轨道征”;肺双能量灌注成像(dual energy perfusion imaging, DEPI)碘图显示肺栓塞区灌注缺损或稀疏。Zhang 等^[17]在家兔肺栓塞模型的研究中发现,传统 CTPA 诊断肺栓塞的敏感度和特异度分别为 67% 和 100%;而 DEPI 诊断肺栓塞的敏感度和特异度分别为 89% 和 92%。尤其是 CTPA 与 DEPI 在诊断肺栓塞上可以起到互补作用,两者联合可以提高对外周小栓子诊断的准确率。

对于慢性肺栓塞,CTPA 除表现为肺动脉截断,还可显示中央肺动脉不对称性扩张伴钙化,肺动脉管径缺乏连续性,如管腔突然变细,支气管动脉异常扩张血流增加。这些变化是由于多病灶机化的血栓慢性阻塞引起,随后引起部分血管管径缩小和部分血管管径代偿性扩大,对诊断具有重要的价值。Hasegawa 等^[18]认为,急性肺栓塞不会引起支气管动脉扩张,而慢性或再栓塞患者通常伴有支气管动脉的扩张。而 DECT 的 80 kVp 图像有助于显示慢性肺栓塞患者来自于支气管和非支气管体循环动脉的侧支血管。此外,利用 DECT 还有助于证实慢性肺栓塞肺动脉闭塞的严重程度、体循环侧支血管的形成以及灌注损害之间的联系。

评价肺栓塞严重性有多种方法,其中右心室/左心室直径比值,CT 肺血管阻塞指数被认为是评估肺栓塞严重性的主要指标。Chae 等^[19]设计了肺灌注缺损评分系统、肺动脉阻塞指

作者单位:210002 南京,南京军区南京总医院医学影像科
作者简介:路莉(1984-),女,江苏徐州人,住院医师,硕士研究生,主要从事呼吸循环系统诊断与研究,工作。
通讯作者:卢光明, E-mail: cjr_luguangming@vip.163.com
基金项目:江苏省自然科学基金资助(BK2009316)

数及右心室/左心室直径比值进行分析比较,他们将每侧肺均分为 10 段,每个肺段灌注状态分为 3 级:0 为正常,1 为灌注轻度降低,2 为灌注明显降低或缺损。灌注缺损评分被定义为(出现灌注异常的肺段数 $\times$ 灌注缺损严重程度)/40 $\times$ 100%。他们发现,灌注缺损和 CT 肺动脉阻塞指数与右心室/左心室直径比值之间有好的相关性($r=0.66\sim0.69, P<0.001$);以患者为分析对象,灌注缺损与 CT 肺动脉阻塞指数之间也有好的相关性($r=0.85\sim0.87, P<0.001$);而以肺段为分析对象,两者一致性一般;这是因为肺动脉闭塞程度与灌注缺损之间不匹配。

在肺栓塞治疗过程中,DECT 也可作为随访及预后评估的很好的检查方法,DECT 不仅可以检测肺动脉内栓子的大小及管腔再通情况,还可以通过测量相关参数监测病情的进展情况。急性右心衰竭是肺栓塞的主要死因^[20,21],可测量如下参数,如左心室(LV)及右心室(RV)短轴,RV/LV,肺动脉主干、升主动脉、奇静脉、上腔静脉管腔直径,和肺动脉主干管腔直径/主动脉管腔直径来反映。Ghaye 等^[22]回顾性分析 82 例持续反复发生肺栓塞的患者,并测量了以上提到的心血管参数,在这些幸存者与死亡者间以上参数有明显差异,肺动脉血栓负荷量与病死率无显著相关。RV/LV 及奇静脉直径在 89% 幸存者中给予了正确的预测。尽管研究已经表明 DECT 显示的灌注积分与上述心血管测量参数之间有很好的相关性,但 DECT 显示灌注缺损与患者预后的关系还没有文献报道。

3. 双能量肺血管分析软件的应用

尽管部分容积效应的存在,各种物质低和高千伏的 CT 值相对于空气(-1000 HU)的比值可以反映碘含量,双能量肺血管分析软件就利用这一原理,以 CT 值直线图的形式将肺血管分成含有碘的血管与不含碘的血管。利用这一软件,非常小的血管也能被划分出含碘的正常部分与不含碘的远段闭塞部分。Lee 等^[23]对肺栓塞 3 种处理软件(CTPA、双能量肺灌注以及肺血管分析软件)进行研究,发现单独分析 CTPA,对段、亚段及以下肺动脉栓子检测的敏感度为 54.5%、73.7% 和 34.4%,CT-PA 联合“Lung vessels”软件检测的敏感度为 64.0%、78.3% 和 48.5%;研究中还发现一些外周小栓子在 CTPA 诊断不确定,而在 Lung vessels 分析诊断为阳性,可见 Lung vessels 能够更好的检测外周栓子。未来对 Lung vessels 软件进行动物实验研究,证明这一软件对诊断肺栓塞的准确性是有必要的。

4. 双能量 CT 肺通气显像

随着临床诊疗手段的迅速发展,对于肺灌注及肺通气功能的评估显得更为重要。以前评估肺通气功能主要依靠核素显像或 MRI,这些检查需要吸入极性氦气、氙气或钆螯合物。但这些检查均不能提供高分辨的解剖图像。DECT 肺通气成像可以同时提供解剖及通气图像。氙气具有类似碘原子高的原子序数(氙原子序数 54;碘原子序数 53),因此可以获得同碘原子一样的 X 线吸收值,可以用来评价通气功能^[24-26]。Chae 等^[25]对 12 例患者吸入浓度为 30% 的氙气,证明 DECT 肺通气成像的技术可行性,但氙气可引起呼吸抑制,这一不良反应可能在一定程度上限制这项技术在临床的推广应用。未来研究热点将是 DECT 肺通气图像与 DECT 肺灌注图像联合评估肺功能受损情况,这对于研究肺栓塞以外的呼吸道疾病具有很好的临床评估价值。因为通气与灌注扫描参数不同,这就要求进行 2 次 DECT 扫描,第 1 次扫描吸入氙气,第 2 次扫描静脉注射碘

对比剂,可以得到通气与灌注联合图像。

辐射剂量的考虑

DECT 扫描并未明显增加患者所接受的辐射剂量,目前文献报道的 DECT 扫描剂量范围为 143~302 mGy $\cdot$ cm,均未超过欧洲剂量标准(650 mGy $\cdot$ cm)^[27]。CT 辐射剂量受很多参数影响,其中管电流的设定对其影响较大,在双源 CT 两个球管运行时剂量调控系统(CareDOSE 4D)软件能根据患者的解剖结构调节管电流从而降低辐射剂量。对于体型较小或中等的患者,双能量 CT 扫描与单源 CT 相比不会明显增加患者接受的辐射剂量;但对体型较大的患者,为了尽可能地保证图像质量,需要增加低千伏球管的管电流,从而导致患者接受的辐射剂量明显增加;因此对体重指数[(体重/(身高)²]超过 30 kg/m² 的患者不推荐进行 DECT 扫描。

DECT 在肺栓塞评估上较常规 CTPA 有一定优势,DECT 不同管电压条件为不同体重指数的患者提供可供选择的图像序列。对体质指数正常者可选择 80 kVp 图像序列,对于肥胖患者选择 140 kVp 图像序列。利用 DECT 数据通过物质分析算法获得碘对比剂在肺内的分布信息,能显示肺组织的血流灌注状态,有助于改善亚段及更远段肺动脉分支内肺栓塞的检测,提高了 CT 检测肺栓塞的准确性;进行肺栓塞严重程度的评估,可作为常规 CTPA 的有力补充,使得 DECT 成为唯一能同时显示高分辨力的肺解剖图像和功能图像的技术。相信随着双源 CT 和其他 DECT 技术的不断发展,其在肺栓塞的诊断和预后评估中将体现更大的价值。

参考文献:

- [1] Schoepf UJ, Costello P. Multidetector-row CT imaging of pulmonary embolism[J]. Semin Roentgenol, 2003, 38(2): 106-114.
- [2] Nikolaou K, Thieme S, Sommer W, et al. Diagnosing pulmonary embolism; new computed tomography applications[J]. J Thorac Imaging, 2010, 25(2): 151-160.
- [3] Remy-Jardin M, Pistolesi M, Goodman LR, et al. Management of suspected acute pulmonary embolism in the era of CT angiography; a statement from the fleischner society[J]. Radiology, 2007, 245(2): 315-329.
- [4] Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, et al. Material differentiation by dual energy CT: initial experience[J]. Eur Radiol, 2007, 17(6): 1510-1517.
- [5] 张龙江, 卢光明, 黄伟, 等. 双源 CT 双能量肺灌注成像的初步观察[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(11): 1183-1186.
- [6] Yeh BM, Shepherd JA, Wang ZJ, et al. Dual-energy and low-kVp CT in the abdomen[J]. AJR, 2009, 193(1): 47-54.
- [7] 卢光明. 积极开拓双源 CT 的临床应用范围[J]. 中华放射学杂志, 2008, 42(2): 117-118.
- [8] Kang MJ, Park CM, Lee CH, et al. Dual-energy CT: clinical applications in various pulmonary diseases[J]. RadioGraphics, 2010, 30(3): 685-698.
- [9] Szucs Farka Z, Strautz T, Patak MA, et al. Is body weight the most appropriate criterion to select patients eligible for low-dose pulmonary CT angiography? Analysis of objective and subjective image quality at 80kVp in 100 patients[J]. Eur Radiol, 2009, 19(8): 1914-1922.

- [10] Fletcher JG, Takahashi N, Hartman R, et al. Dual-energy and dual-source CT: is there a role in the abdomen and pelvis? [J]. Radiol Clin North Am, 2009, 47(1): 41-57.
- [11] 张龙江, 周长圣, 朱正庭, 等. 双源 CT 双能量肺灌注成像对比剂应用参数优化及辐射剂量的研究[J]. 中国临床医学影像杂志, 2009, 20(9): 693-696.
- [12] Remy-Jardin M, Faivre JB, et al. Thoracic applications of dual energy[J]. Radiol Clin North Am, 2010, 48(1): 193-205.
- [13] Godoy MCB, Heller SL, Naidich DP, et al. Dual-energy MDCT: comparison of pulmonary artery enhancement on dedicated CT pulmonary angiography, routine and low contrast volume studies [J]. Eur J Radiol, 2010, doi:10.1016/j.ejrad.2009.12.030
- [14] Sangwaiya MJ, Kalra MK, Sharma A, et al. Dual-energy computed tomographic pulmonary angiography: a pilot study to assess the effect on image quality and diagnostic confidence[J]. J Comput Assist Tomogr, 2010, 34(1): 46-51.
- [15] Gorgos A, Remy-Jardin M, Duhamel A, et al. Evaluation of peripheral pulmonary arteries at 80kV and at 140kV: dual-energy computed tomography assessment in 51 patients[J]. J Comput Assist Tomogr, 2009, 33(6): 981-986.
- [16] Hoey ET, Gopalan D, Ganesh V, et al. Dual-energy CT pulmonary angiography: a novel technique for assessing acute and chronic pulmonary thromboembolism[J]. Clin Radiol, 2009, 64(4): 414-419.
- [17] Zhang LJ, Chai X, Wu SY, et al. Detection of pulmonary embolism by dual energy CT: correlation with perfusion scintigraphy and histopathological findings in rabbits[J]. Eur Radiol, 2009, 19(12): 1844-1854.
- [18] Hasegawa I, Boiselle PM, Hatabu H. Bronchial artery dilatation on MDCT scans of patients with acute pulmonary embolism: comparison with chronic or recurrent pulmonary embolism[J]. AJR, 2004, 182(1): 67-72.
- [19] 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.
- [20] Grifoni S, Olivetto I, Cecchini P, et al. Short-term clinical outcome of patients with acute pulmonary embolism, normal blood pressure, and echocardiographic right ventricular dysfunction [J]. Circulation, 2000, 101(24): 2817-2822.
- [21] Agnelli G, Becattini C. Acute pulmonary embolism [J]. N Engl J Med, 2010, 363(3): 266-274.
- [22] Ghaye B, Ghuyssen A, Willems V, et al. Severe pulmonary embolism: pulmonary artery clot load scores and cardiovascular parameters as predictors of mortality[J]. Radiology, 2006, 239(3): 884-891.
- [23] Lee CW, Seo JB, Song JW, et al. Evaluation of computer-aided detection and dual energy software in detection of peripheral pulmonary embolism on dual-energy pulmonary CT angiography [J]. Eur Radiol, 2010, 21(1): 54-62.
- [24] Goo HW, Chae EJ, Seo JB, et al. Xenon ventilation CT using a dual-source dual-energy technique: dynamic ventilation abnormality in a child with bronchial atresia [J]. Pediatr Radiol, 2008, 38(10): 1113-1116.
- [25] Chae EJ, Seo JB, Goo HW, et al. Xenon ventilation CT with a dual-energy technique of dual-source CT: initial experience [J]. Radiology, 2008, 248(2): 615-624.
- [26] Thieme SF, Hoegl S, Nikolaou K, et al. Pulmonary ventilation and perfusion imaging with dual-energy CT [J]. Eur Radiol, 2010, 20(12): 2882-2889.
- [27] Thieme SF, Johnson TR, Reiser MF, et al. Dual-energy lung perfusion computed tomography: a novel pulmonary functional imaging method [J]. Semin Ultrasound CT MR, 2010, 31(4): 301-308.

(收稿日期: 2010-12-21 修回日期: 2011-03-18)

• 外刊摘要 •

激素状态在临床乳腺 MR 成像中的背景强化对诊断准确性的影响

Baltzer PA, Dietzel M, Vag T, et al

目的: 激素刺激能引起乳腺 MR 成像(MRM)中的背景强化(BE), 已有研究证实这种作用有可能降低 MRM 的诊断准确性。本研究旨在探讨女性绝经前后 BE 的发生率与激素周期(CP)的相关性以及激素状态(HS)及 BE 对诊断准确性的影响。**方法:** 22 个月连续搜集有完整 HS 信息(CP 的周数或已绝经)的患者进入本前瞻性研究。排除标准为激素治疗、子宫切除术或活检证实有肿瘤病史。组织病理学作为参考标准。所有的 MRM 扫描使用相同的方法(1.5T MR 机, 按 0.1 mmol/kg 剂量静脉注射 Gd-DTPA 后采用 GRE T₁ WI 行动态增强扫描)。2 位放射科医师根据 BI-RADS 共同观察所有检查者图像并达成一致意见。BE 评分: 0 为无, 1 为中等, 2 为显著。**结果:** 224 例患者(150 例为绝经后, 74 例为绝经前, 45 例在激素周期的第二

周)参与此研究(包括 83 例良性和 141 例恶性病变)。BE 在绝经前女性中更常见($P=0.006$), 但是激素周期期间没有显著差异($P=0.460$)。HS 和 BE 对 MRM 诊断参数均没有显著影响($P\geq 0.375$)。尽管如此, 关于 BE, 假阳性(FP)发现的相对个数在显著 BE 组最高(5/10; 50%)。关于 HS, 在绝经前女性比 CP 的第二周检查 FP 要高出 17%。**结论:** 在绝经前女性中, HS 引起乳腺组织 BE 的增高, 不依赖于 CP。显著的 DE 和没有说明周期, 不适合的 CP 可能导致假阳性病例的增多。

华中科技大学同济医学院附属同济医院 黄璐译 夏黎明校

摘自 Fortschr Röntgenstr, 2011, 183(5): 441-447.