

论 著

儿童肺炎支原体肺炎肺栓塞双能谱CT成像的研究*

林晓杰¹ 于茂敏¹ 李 堂^{2,*}
薛同庆³

1.青岛市第八人民医院儿科

(山东 青岛 266000)

2.青岛市妇女儿童医院儿科内分泌与

遗传代谢科 (山东 青岛 266000)

3.淮安市淮安医院麻醉科 (江苏 淮安 223211)

【摘要】目的 探讨双能谱CT在诊断儿童肺炎支原体肺炎(MPP)肺栓塞中的应用价值。**方法** 对83例MPP合并高度怀疑肺栓塞(PE)的患儿行CT肺血管造影(CTPA)扫描,其中25例确诊为PE。评估图像质量和诊断置信度,对患儿治疗前后实变区、灌注缺损区及正常肺、灌注缺损区的碘浓度(IC)进行检测。**结果** 检测儿童PE的最佳能量水平为55keV。缺损区IC值分别为 0.69 ± 0.28 mg/m L(外实变)和 0.90 ± 0.23 mg/m L(实变内),均显著低于正常肺的 2.76 ± 0.45 mg/m L和无实变的 10.25 ± 1.76 mg/m L($P < 0.001$)。闭塞血栓与非闭塞血栓有无血流灌注缺损率差异有统计学意义($P < 0.001$)。治疗后血流灌注缺损区的IC明显增加($P < 0.001$)。**结论** 在双能谱CTPA中,55keV图像对儿童PE的检出效果最佳,而MD图像可定量显示PE的肺血流,有助于发现细小的血栓和量化栓塞度。

【关键词】 肺炎支原体肺炎; 儿童肺炎;
双能谱CT; 肺栓塞

【中图分类号】R375+.2

【文献标识码】A

【基金项目】江苏省卫生健康委

科研项目(Z2021045)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.016

A Study on Dual Energy Spectrum CT Imaging of Pulmonary Embolism Caused by Mycoplasma Pneumoniae Pneumonia in Children*

LIN Xiao-jie¹, YU Mao-min¹, LI Tang^{2,*}, XUE Tong-qing³.

1.Department of Pediatrics, Qingdao Eighth People's Hospital, Qingdao 266000, Shandong Province, China

2.Department of Pediatric Endocrinology and Genetic Metabolism, Qingdao Women and Children's Hospital, Qingdao 266000, Shandong Province, China

3.Department of Anesthesiology, Huai'an Hospital, Huai'an 223211, Jiangsu Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of dual energy spectrum CT in the diagnosis of pulmonary embolism caused by Mycoplasma pneumoniae pneumonia (MPP) in children. **Methods** CT pulmonary angiography (CTPA) was performed on 83 children with MPP and highly suspected pulmonary embolism (PE), of which 25 were diagnosed with PE. Evaluate image quality and diagnostic confidence, and detect iodine concentration (IC) in the consolidation area, perfusion defect area, normal lung, and perfusion defect area of the patient before and after treatment. **Results** The optimal energy level for detecting PE in children is 55keV. The IC values of the defect area were 0.69 ± 0.28 mg/m L (external consolidation) and 0.90 ± 0.23 mg/m L (internal consolidation), respectively, which were significantly lower than the normal lung's 2.76 ± 0.45 mg/m L and non consolidation's 10.25 ± 1.76 mg/m L ($P < 0.001$). There was a statistically significant difference ($P < 0.001$) in the incidence of blood flow perfusion defects between occlusive and non occlusive thrombosis. After treatment, the IC in the blood flow perfusion defect area significantly increased ($P < 0.001$). **Conclusion** In dual spectrum CTPA, the 55 keV image has the best detection effect on pediatric PE, while the MD image can quantitatively display the pulmonary blood flow of PE, which helps to detect small thrombi and quantify the degree of embolism.

Keywords: Mycoplasma Pneumoniae Pneumonia; Childhood Pneumonia; Dual Spectral CT; Pulmonary Embolism

近年来,儿童肺栓塞(PE)的发病率呈上升趋势,并且与许多危险因素有关^[1]。肺炎支原体肺炎(MPP)通常被认为是一种自限性疾病,但近年来,引起包括PE在内的各种肺和肺外并发症的重症MPP已经引起了越来越多的关注^[2]。如果不及时诊断和治疗,PE是MPP相关死亡的第三大原因。CT肺血管造影(CTPA)一直是诊断PE的首选方法,儿科研究报告CTPA对使用多层螺旋CT(MDCT)技术诊断儿童PE有很高的诊断性能^[3]。但能够检测到较小的和外周的栓子是有限的,特别是在肺动脉直径较小的儿童,它不能提供肺血流灌注的信息。近年来,随着多层螺旋CT技术的进步,双能谱CT成像也被用于PE的诊断,它既可以生成用于PE形态分析的单色CTPA图像,也可以生成用于定量描述肺血流和血流灌注缺陷的物质分解图像^[4]。单色图像可以减少平均衰减效应,提高对比度分辨率。碘基物质分解图像可以准确、客观地反映真实的碘浓度,进而反映血流情况,已被引入成人PE的诊断^[5]。本研究的目的是评价双能谱CT成像在诊断儿童MPP的PE中的应用。

1 资料与方法

1.1 研究资料 自2022年1月至2023年12月,对83例MPP合并高度怀疑PE的患儿行CTPA,采用光谱成像模式。我们根据肺炎的体征和症状,以及阳性的实验室结果来诊断儿童MPP。当儿童出现额外的症状,包括胸痛、咯血等,并伴有D-二聚体水平升高时,高度怀疑患有PE。25例儿童(男13例,女12例,年龄3~14岁,中位年龄7岁)在CTPA图像上被诊断为PE。

1.2 研究方法 所有儿童都接受了CT扫描仪(GE healthcare)的检查,依从性差的婴儿或更小的儿童(≤ 5 岁)在镇静下进行扫描。CT增强扫描采用双能谱成像模式,快速管电压在80~140kVp之间切换,单次旋转,固定管电流200 mA。儿童注射非离子碘对比剂,根据儿童体重调整对比剂剂量,最大剂量为75mL,使用高压注射器,速度1.8~4.0mL/s。采用自动触发技术与主肺动脉感兴趣区(ROI)进行对比增强扫描,监测对比剂的涌入,在ROI信号衰减达到100Hounsfield单位(HU)的预定阈值后7 S开始数据采集。采用第二代自适应统计迭代重建(ASIR-V)算法,重建层厚为0.625 mm,强度为50%。

原始图像数据传输到AW4.7工作站,并使用专用软件进行图像处理和数据测量。两位专科医生对所有图像数据进行客观测量和主观评估,ROI的大小根据血栓的大小而变化,并被绘制为包括每个图像系列中至少三分之二的对象,计算凝块对比噪声比(CNR)^[6]。图像的背景噪声被确定为儿童胸前测量的空气的标准偏差。分析比较了9组单色图像在40、45、50、55、60、65、70、75和80keV能量水平下的CNR值。其他单色图像集由于低CNR和高凝块噪声值而被放弃。对这9组单色CTPA图像进行主观评价,包括总

【第一作者】林晓杰,女,主治医师,主要研究方向:儿科内分泌和遗传代谢。E-mail: dovip8090@yeah.net

【通讯作者】李 堂,男,副主任医师,主要研究方向:儿科内分泌与遗传代谢。E-mail: drlitang@hotmail.com

体CTPA图像质量和诊断置信度。图像质量用5分量表评价(5分, 优; 4分, 良; 3分, 可; 2分, 次优; 1分, 不可接受或差)^[7], 对PE的诊断可信度用5分量表(5分, 优秀信心; 4分, 良好信心; 3分, 中等信心不影响诊断; 2分, 诊断信心不足; 1分, 无信心)进行评估。两位评价者在最佳单色能量水平图像上观察并记录血栓数目、解剖位置、血栓闭塞程度等影像表现。PE被分组为闭塞性(完全动脉闭塞并停止造影剂增强)和非闭塞(部分充盈缺损区被造影剂包裹)。然后向相同的评价者展示具有“彩色”颜色编码方案的碘基材料分解图像, 以可视化碘的分布, 并根据肺实质中的灌注缺陷进一步识别血栓。实变内凝块是指位于肺实变内动脉中的凝块, 而实变外凝块是指位于肺实变外动脉中的凝块。对于实变外的凝块, 利用肺实质中碘的分布, 在碘基物质分解图像上发现灌注缺陷, 在同一层面上将感兴趣区放置在灌注缺损区及邻近的正常肺或对侧正常肺。对于实变内凝块, ROI放置在有实变内凝块的低强化实变区和邻近无凝块的明显强化实变区。

1.3 统计学方法 所有数据分析用SPSS 28.0软件进行, P 值 <0.05 被认为具有统计学意义。背景噪声、CNR和碘浓度以均值 $\pm$ 标准差表示。对不同单色图像的背景噪声、CNR进行Bonferroni校正的重复测量方差分析, 并对灌注缺损区与正常区(无凝块实变区)的碘浓度进行配对 t 检验。主观图像质量和诊断信心使用弗里德曼测试进行测试。用Fisher's Exact检验比较CTPA图像上的栓子与碘基材料分解图像上的灌注缺陷之间的相关性。

2 结果

2.1 PE检测及相应的血流灌注缺陷分析 不同单色图像上的噪声随X射线能量的不同而不同, 在80keV处观测到最小值, 80keV VMS图像上的平均噪声低于40keV、45keV和50keV上的噪声。不同单色图像对血栓的CNR值不同, 最大值出现在40keV, 但不同能量水平的平均值之间无显著差异。背景噪声和CNR随着单色

电平的增加而降低。除60keV外, 55keV单色图像组PE的主观图像质量评分明显高于其他图像组($P=1.000$)。除50keV、60keV和65keV图像外, 55keV单色图像对PE的诊断置信度均显著高于其他图像($P=1.000$ 、 $P=1.000$ 和 $P=0.104$)。

如图1所示, 25例患儿中发现113个血栓, 其中肺段亚动脉血栓88个, 肺段动脉血栓23个, 大叶肺动脉血栓2个。结合单色图像和基于碘的物质分解图像, 发现位于亚段肺动脉的另外三个血栓, 在CTPA图像上首次读取时遗漏, 在基于碘的物质分解图像上具有正灌注缺陷, 并将PE检测增加到116次。

2.2 楔形血流灌注缺陷分析 如图2所示, 116个血栓中, 29个血栓(21个闭塞性, 8个非闭塞性)在6个儿童中发现了额外实变, 所有的闭塞性血栓和2个非闭塞性血栓(占75%)直径减小)显示明显的楔形血流灌注缺陷。经Fisher's精确检验, 闭塞血栓与非闭塞血栓之间有无血流灌注缺陷有显著差异($P<0.001$)。

2.3 基于碘基材料分解图像的碘浓度定量研究 如图3所示, 对于PE相关的灌注缺损区和邻近的正常肺或对侧正常肺, 测量同一层面上的实变凝块, 对于实变内的凝块, 测量近端动脉有凝块的实变区和相邻无凝块的实变区。实变区外血栓, 肺内灌注缺损区碘浓度为 $0.32\sim1.20$ mg/mL, 平均 0.69 ± 0.28 mg/mL; 正常肺组织平均碘浓度为 2.76 ± 0.45 mg/mL, 范围为 $2.12\sim3.64$ mg/mL, 差异有统计学意义($P<0.001$)。

2.4 碘浓度定量研究分析 如图4所示, 4例20个闭塞凝块位于实变外的儿童, 在抗凝和抗生素治疗后(2周~2个月)行CT复查, 观察血栓和肺血流的恢复情况。7个血栓缩小, 13个血栓消失。治疗前后碘基材料分解图像上相应区域的碘浓度分别为 0.43 ± 0.18 mg/mL和 3.10 ± 0.64 mg/mL, 差异有统计学意义($P<0.001$)。其余儿童接受CT平扫, 评价MPP的疗效。实变内血栓组与非实变组的碘浓度分别为 0.90 ± 0.23 mg/mL($0.34\sim1.30$ mg/mL)和 10.25 ± 1.76 mg/mL($7.13\sim13.48$ mg/mL), 差异有统计学意义($P<0.001$)。

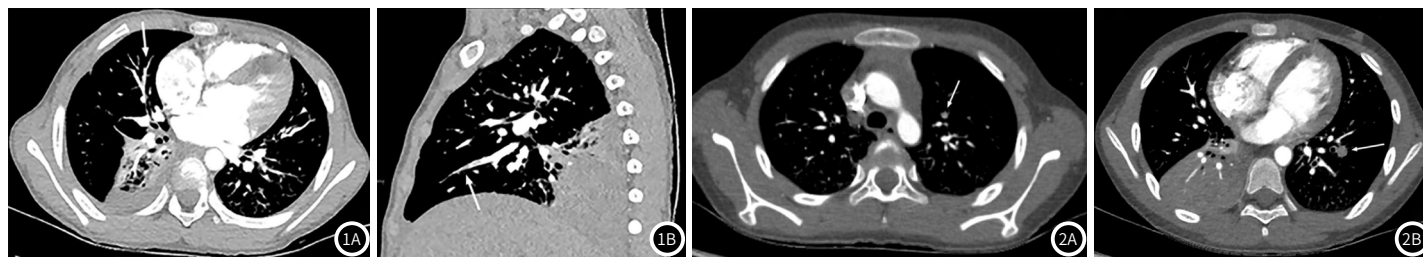


图1A-图1B 1例7岁男童, 发热咳嗽12天, D-二聚体 4.34 mg/L, 增强轴位和斜位矢状位扫描显示右中叶亚段肺动脉充盈缺损区(箭头), CTPA图像一读漏诊。1B, 基于碘物质分解图像显示相应区域的楔形灌注缺陷, 有助于确认血栓的存在。

图2A-图2B 1例8岁女童, 发热咳嗽7天, D-二聚体浓度 11.326 mg/L, 轴位增强扫描显示左上叶和左下叶节段及亚段肺动脉充盈缺损区(箭头)。

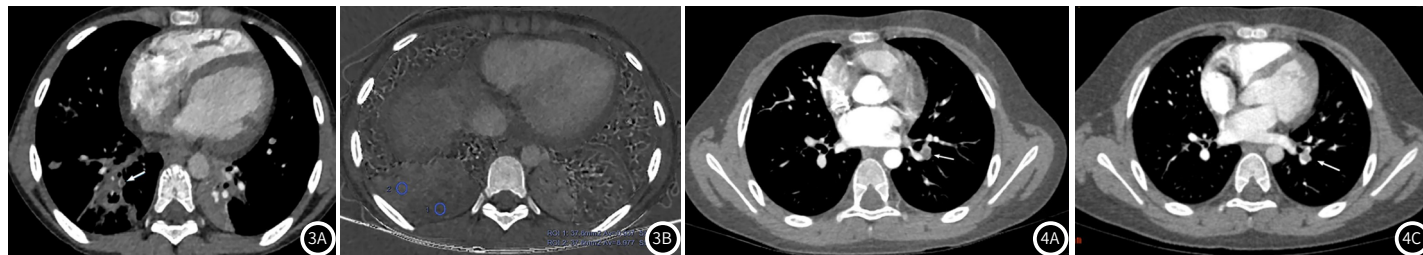


图3A-图3B 7岁女童, 发热咳嗽6天, D-二聚体 5.55 mg/L, 增强轴位CT扫描显示右肺下叶节段肺动脉充盈缺损区(箭头), 位于实变内。3B, 碘基物质分解图像和彩色编码图像显示, 有血栓的实变的碘浓度低于邻近的无血栓的实变。

图4A-图4B 5岁男童, 发热咳嗽10天, d-二聚体 4 mg/L。4A, 轴向增强扫描显示左下肺叶节段性肺动脉充盈缺损(箭头)。4B抗凝及抗生素治疗1个月后, 造影增强轴向显示充盈缺损缩小(箭头), 相应碘基物质分解图像灌注缺损消失。

3 讨论

我们研究中使用的双能量扫描模式是基于单管、双管电压、快速切换技术,该技术在40到140keV的能级上提供一组虚拟单色图像。研究表明^[8],成人PE检测的最佳单色能量水平为65keV,具有最低的噪声、最高的主观评分和第二高的CNR^[9]。然而结果表明,最优的单色能级已经向较低的值移动。图像质量和诊断置信度等主观评价得分最高的是55keV,其次是60keV,两组主观评价得分差异无统计学意义($P>0.05$)。考虑到55keV图像具有良好的CNR和对PE诊断的最高主观评价分数,55keV被认为是双能谱CTPA检测儿童肺栓塞的最佳能量水平^[10]。最佳能级低于先前报道的65keV至少有两个原因。首先,研究人群是体型较小的儿童患者,他们的剂量效率更高,在低光子能量下提供更高的CNR,导致最低光子能级的CNR值最高,即使图像噪声仍然高于高能量水平的图像^[11]。其次,CT扫描是在第二代双能谱CT扫描仪(Revise CT)上进行的,采用了更先进的迭代重建算法(ASIR-V),该算法进一步抑制了图像噪声,并在平衡对比度和图像噪声方面有利于较低能量的图像^[12]。

如上所述,CTPA检出较小和周边栓子的能力有限,尤其是在儿童,而且只能提供形态学评估^[13]。除肺形态改变外,肺血流灌注缺陷的评估是肺栓塞诊断的重要组成部分,可提高外周性肺栓塞的诊断率。双能谱在儿童肺栓塞诊断中的应用尚未见报道。在我们的研究中,大多数血栓(78.4%)发生在亚节段动脉^[14]。这与其他危险因素相关的PE患儿不同,PE患儿血栓主要分布于大叶动脉和节段动脉。此外,我们的研究还观察到实变内和实变外的血栓,对于实变外的血栓,碘浓度分布的变化可以很容易地识别肺实质的灌注缺陷,呈典型的区域性三角形,呈叶状、节段状或亚节段状分布^[15]。它们在碘基物质分解图像中比栓子本身更突出,特别是那些小栓子和周围栓子。在我们的研究中,我们发现了三个在CTPA图像上缺失的亚节段动脉血栓,这些血栓在碘基材料图像上有正灌注缺陷,灌注缺陷帮助我们发现了CTPA图像中由于分辨率低而容易遗漏的血栓^[16]。这一发现表明,基于碘的材料分解图像可能能够通过检测灌注缺陷来提高CTPA对小周围凝块的敏感性,这似乎对小凝块的儿童更有益。碘浓度的变化也可用于肺灌注提供定量测量^[17]。而肺内PE区碘浓度如前期报道有统计学意义低于正常肺,可用于区分肺内PE病变与正常肺,有无灌注缺陷也可用于进一步区分阻塞性PE与非阻塞性PE^[18]。由于完全闭塞或几乎完全闭塞的血管对PE的影响远大于非闭塞血管,从而影响治疗策略,因此及时诊断PE并进行早期抗凝治疗至关重要^[19]。碘浓度测定也可用于评价PE的治疗效果。我们的结果表明,除了CTPA图像上栓子减少或消失外,物质分解图像上灌注缺损消失,相应区域碘浓度升高也表明PE区域局部血流恢复^[20]。对于实变内凝块,有凝块的实变与无凝块的实变存在显著差异,碘浓度的定量变化可提示PE的鉴别。无血栓实变肺碘浓度显著高于正常肺碘浓度($P<0.001$),符合病理机制^[21]。众所周知,炎症性病变通常血供高,且因炎症逐渐刺激毛细血管丰富扩张而呈均匀增强^[22]。

综上所述,双能谱CT肺血管成像检测儿童PE的最佳能量水平为55keV。碘基物质分解图像可定量显示PE内或外实变时的肺血流,血流灌注缺陷有助于发现细小的血栓和区分栓塞的程度。

参考文献

- [1] Del R T, Bote-Gascon P, Falces-Romero I, et al. Multiplex PCR and antibiotic use in children with community-acquired pneumonia[J]. *Children* (Basel), 2024, 11(2).
- [2] 刘玉梅. 低分子肝素与普通肝素治疗肺栓塞的安全性比较分析[J]. *罕少疾病杂志*, 2023, 30(07): 54-56.
- [3] Li J, Zhang H, Guo J, et al. Clinical features of *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia in children without fever[J]. *BMC Pediatr*, 2024, 24(1): 52.

- [4] Bastard P, Gervais A, Taniguchi M, et al. Higher COVID-19 pneumonia risk associated with anti-IFN- α than with anti-IFN- ω auto-Abs in children[J]. *J Exp Med*, 2024, 221(2).
- [5] Tran X D, Hoang V T, Goumballa N, et al. Viral and bacterial microorganisms in Vietnamese children with severe and non-severe pneumonia[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 120.
- [6] Sielinou K K, Rhedin S A, Almqvist C, et al. Use of inhaled corticosteroids and the risk of hospitalisation for pneumonia in children with asthma: a nationwide cohort study[J]. *Thorax*, 2024.
- [7] Yang Y, Wu Y, Zhao W. Comparison of lung ultrasound and chest radiography for detecting pneumonia in children: a systematic review and meta-analysis[J]. *Ital J Pediatr*, 2024, 50(1): 12.
- [8] Sa R N, Wang A Q, Gao Y H, et al. [Efficacy of bronchoalveolar lavage combined with prone positioning in children with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia and atelectasis: a prospective randomized controlled study][J]. *Zhongguo Dang Dai Er Ke Za Zhi*, 2024, 26(1): 31-36.
- [9] Chisti M J, Clemens J D, K M S, et al. Implementation of bubble continuous positive airway pressure for children with severe pneumonia and hypoxemia in intensive care unit of Dhaka Hospital, Bangladesh-Effect on pneumonia mortality[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2024.
- [10] Etter L, Betke M, Camelo I Y, et al. Curated and annotated dataset of lung US images of Zambian children with clinical pneumonia[J]. *Radiol Artif Intell*, 2024: e230147.
- [11] Alqahtani S A, Alghamdi A M, Babader R A, et al. Retraction: tracheal bronchus: a rare etiology of recurrent pneumonia in children[J]. *Cureus*, 2024, 16(1): r114.
- [12] Qian C, Chen Q, Lin W, et al. Incidence of community-acquired pneumonia among children under 5 years in Suzhou, China: a hospital-based cohort study[J]. *BMJ Open*, 2024, 14(1): e78489.
- [13] Lu C, Yang W, Wang F, et al. Corrigendum to "Effects of intrauterine and post-natal exposure to air pollution on children's pneumonia: key roles in different particulate matters exposure during critical time windows" [J. Hazard. Mater. 457 (2023) 131837][J]. *J Hazard Mater*, 2024, 464: 132817.
- [14] 张珠莱. 基于炎症免疫指标评估甲强龙不同剂量治疗小儿支原体肺炎的疗效[J]. *罕少疾病杂志*, 2024, 31(12): 39-41.
- [15] Yu H R, Hsu J H. Editorial: Emerging pneumonia and acute lower respiratory infections in children, volume II[J]. *Front Pediatr*, 2024, 12: 1372533.
- [16] Wongwathanavikrom N B, Tovichien P, Udomittipong K, et al. Incidence and risk factors for long COVID in children with COVID-19 pneumonia[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2024.
- [17] Wang N, Fang Y, Dong H, et al. Clinical features and prediction of risk factors for severe adenovirus pneumonia in children[J]. *Transl Pediatr*, 2024, 13(1): 63-71.
- [18] Lyon E, Olarte L. Community-acquired bacterial pneumonia in children: an update on antibiotic duration and immunization strategies[J]. *Curr Opin Pediatr*, 2024.
- [19] Chen Q, Hu T, Wu L, et al. Clinical features and biomarkers for early prediction of refractory *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia in children[J]. *Emerg Med Int*, 2024, 2024: 9328177.
- [20] Wang Z, Chu C, Ding Y, et al. Clinical significance of serum microRNA-146a and inflammatory factors in children with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia after azithromycin treatment[J]. *J Pediatr* (Rio J), 2024, 100(1): 108-115.
- [21] Zhang X, Sun R, Jia W, et al. Clinical characteristics of lung consolidation with *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia and risk factors for *Mycoplasma pneumoniae* necrotizing pneumonia in children[J]. *Infect Dis Ther*, 2024.
- [22] Bayhan G I, Gulleroglu N B, Cetin S, et al. Radiographic findings of adenoviral pneumonia in children[J]. *Clin Imaging*, 2024, 108: 110111.

(收稿日期: 2024-02-28)

(校对编辑: 姚丽娜)