

# 肺栓塞的影像学诊断及研究进展

姚彦娥, 李建龙\*

延安大学附属医院影像科, 陕西 延安

收稿日期: 2023年2月21日; 录用日期: 2023年3月17日; 发布日期: 2023年3月24日

## 摘要

肺栓塞是一种常见的心血管疾病, 也是其最常见的死亡原因之一, 由于肺栓塞的临床表现缺乏特异性, 因此, 及时准确的诊断至关重要, 目前, 影像学检查已成为诊断肺栓塞的重要手段, 本文旨在对不同的影像学检查技术对急性肺栓塞的诊断价值及最新的研究进展做一综合的阐述。

## 关键词

肺栓塞, 影像学检查, 肺动脉造影

# Imaging Diagnosis and Research Progress of Pulmonary Embolism

Yan'e Yao, Jianlong Li\*

Department of Imaging, Yan'an University Affiliated Hospital, Yan'an Shaanxi

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2023; accepted: Mar. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 24<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Pulmonary embolism is a common cardiovascular disease and one of the most common causes of death. Due to the lack of specificity of clinical manifestations of pulmonary embolism, timely and accurate diagnosis is essential. At present, imaging examination has become an important means of diagnosing pulmonary embolism. This article aims to make a comprehensive exposition of the diagnostic value of different imaging examination techniques for acute pulmonary embolism and the latest research progress.

\*通讯作者。

## Keywords

### Pulmonary Embolism, Imaging Examination, Pulmonary Angiography

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

肺动脉血栓栓塞(pulmonary thromboembolism, PE)简称肺栓塞, 是肺动脉分支被外源性血栓或栓子堵塞后引起的相应肺组织供血障碍。大多数肺栓塞患者的栓子源自下肢深静脉的血栓(DVT), VTE 与 PTE 二者为同一疾病的两个不同阶段。PE 是全球第三大常见的急性心血管综合征, 仅次于心肌梗死和中风[1]。在流行病学研究中, PE 的年发病率为每 10 万人口 39 至 115 人[2]。如果不及及时治疗, 急性 PE 的死亡率很高, 高达 30%, 如果经过及时的诊断和治疗, PE 的死亡率可降至 8% [3]。急性 PE 患者的临床表现异质, 常出现非特异性症状[4], 例如典型的呼吸困难、胸痛, 少见咯血, 甚至会出现呼吸系统症状相对较少的晕厥[5], 但是这些症状, 也有可能出现在急性冠脉综合征、主动脉夹层、气胸等疾病中出现。因此, PE 患者如果能够及时的诊断至关重要, 目前, 影像学检查 CTPA 是诊断肺栓塞的“金标准”, 本文将从不同的影像学检查方法对急性肺栓塞的诊断及研究进展做一综述进行阐述。

## 2. 胸部 X 线平片

胸片是临床医生评价心肺疾病的一项基本的常规检查。有文献报道[6]胸部 X 线检查可提示肺栓塞的阳性征象达 72%。C. Gregory Elliott 等[7]在研究中报道肺栓塞胸片最常见的异常表现是心脏的增大、胸腔积液、半膈肌升高、肺动脉扩张、肺不张和肺实质浸润, 其中心脏增大、半膈肌抬高、肺不张和肺动脉扩张是与孤立性呼吸困难相关的常见异常表现。当急性肺栓塞患者出现晕厥或低血压时, 最常见的异常表现是心脏增大、肺动脉扩张和半膈肌升高。但是胸部 X 线片对上述征象缺乏特异性, 对肺栓塞的诊断仍具有一定的局限性。

## 3. MRI

磁共振血管成像(MRA)对于疑似 PE 已经评估了好几年[8]。越来越多的研究表明, MRI 是诊断急性肺栓塞的可靠成像方式, 其优点是无需电离辐射或使用碘化造影剂[9]。在一项对 57 名患者无法接受计算机断层扫描肺血管造影(CTPA)的患者仅使用非增强、自由呼吸磁共振成像(MRI)的回顾性研究报告, 显示出对肺栓塞检测的 100%的特异性和 90%~93%的敏感性[9]。使用未增强的 MRI 协议基于自由呼吸、稳态自由进动, 没有心脏或呼吸门控检测肺栓塞的研究, 显示出高敏感性和特异性[10]。但是, MRI 因为具有相对较长的检查时间和患者需要配合屏气呼吸, 对于急诊和重症可能不适用。目前在一项有关 MR 和 CT 检测肺栓塞的前瞻性研究中, 所有患者在接受 CT 肺动脉造影(CTPA)后接受了 TrueFISP MRI, 在这些受试中, MR 和 CT 检测肺栓塞之间没有差异, MR 序列的敏感性为 85%, 特异性为 98.6%, 准确率为 95.6% [11]。在 PIOPED III 中, 具有技术上足够图像的患者中, 磁共振血管造影检测 PE 的敏感性为 78%, 特异性为 99%。但是也有少部分患者图像质量差, 磁共振血管造影在技术上是充分的, 但是这个技术不充分的比例因临床中心而异[12]。因此, MRI 虽然目前仍有一定的局限性, 不适合作为首选检

查, 但是随着技术的发展成为一种越来越可行的工具。

#### 4. 超声心动图

经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE)对急性 PE 诊断的敏感性和特异性有限[13]。目前超声心动图对确诊 PE 右心室功能障碍参数的研究显示右心室在对肺栓塞的诊断、治疗和预测预后方面都有着重要的作用。在一项对 84 名确诊 PE 的患者, 经胸超声心动图(TTE)图像用于 RV 游离壁纵向应变(FWS)的分析, 将 PE 患者与 66 名健康对照者进行比较的研究, 表明 RV FWS 是 PE 患者和对照组之间的最佳鉴别器, 将 RV FWS 添加到 RV 大小和功能的参数中可显著提高诊断 PE 的敏感性和特异性, 并可能在诊断和指导治疗中发挥作用[14]。最近的一项荟萃分析了经胸超声心动图对低风险急性症状性 PE 患者的预后价值, 作者发现在低风险 PE 患者中, 超声心动图 RV 功能障碍与全因死亡率无关, 但可以确定短期 PE 相关死亡率风险增加的患者[15]。经食道超声心动图(TEE)具有高度特异性, 可以直接显示肺血栓栓塞, 从而迅速做出诊断, 在一项病例报道中显示[16], 突发心脏骤停的患者, TTE 无法进行诊断, TEE 可以迅速做出诊断, 并排除其他疾病, 为患者的治疗及预后提供了有用的价值。但是 TEE 也有一定的局限性, 这种方法对气道的插入有限制, 妨碍了对左肺分支的清晰评估, 目前有报道支气管内超声(EBUS)为 PE 的诊断提供了卓越的成像质量, 即使在不适合 TEE 探查的区域, 也能够清楚地显示肺血管系统的远端部分, 但是这个方法还需要进行进一步研究[17]。

#### 5. 核素肺通气/灌注显像

V/Q 扫描, 也被称为通气-灌注扫描, 最常见用于肺栓塞的筛查。目前, 虽然 CTPA 是诊断 PE 的首选影像学方法, 但是 V/Q 扫描仍然是特定患者亚组的重要扫描方法。在最近的一项多国研究中显示虽然 V/Q 扫描在诊断 PE 的利用率随着时间逐渐在降低, 但是仍有相当一部分 PE 患者做了 V/Q 检查, 如有心力衰竭病史、糖尿病史、中度和重度肾功能衰竭患者使用 V/Q 比例较 CTPA 高[18]。

在一项对诊断肺栓塞的通气/灌注 SPECT/CT 与单纯灌注 SPECT/CT 的比较研究显示, V/Q 平面闪烁扫描、V/Q SPECT 和 V/Q SPECT-CT 的敏感性和特异性分别为 86.9%和 39.5%、91.3%和 55.8%、100%和 97.6%。可见, SPECT/CT 的诊断准确率明显高于平面显像和 SPECT 显像[19]。有研究报道, VQ SPECT/CT 常规应用于所有疑似肺栓塞患者是不合理的[20]。

#### 6. CTPA

CT 肺动脉造影(CTPA)被认为是疑似急性肺栓塞患者的金标准诊断技术, 其敏感性和特异性分别在 96%和 100%之间, 89%和 98%之间[21]。CTPA 可以直接和间接的显示肺栓塞的征象, 急性肺栓塞直接征象是血管内部分附壁的充盈缺损, 肺动脉管腔狭窄, 严重时肺动脉完全阻塞, 管腔截断。间接征象包括肺血的减少或韦斯特马克征等。CTPA 图像上还可以直接测量右心室与左心室直径比反应右心室功能, 有研究表明[22], CTPA 不仅可以用作诊断工具, 还可以评估 APE 的严重程度和 RV 功能, 以及预测 ICU 入院和死亡率等。在一项关于 CT 肺血管造影参数在急性肺栓塞中的预后价值的相关研究表明, 几个 CTPA 参数是预测紧急情况下急性肺栓塞患者结局的基础, 特别是, 右心室功能障碍的 CTPA 定量是 30 天死亡率的准确预测指标[23]。最近的一项 meta 分析证实横向 CT 切片上的右心室/左心室直径比对急性肺栓塞患者的不良临床结果具有最强的预测价值和最有力的证据基础[24]。

此外, CTPA 图像上还可以测量主动脉、肺动脉干的直径, 也可以去计算肺动脉栓塞指数, 有研究表面[25], 肺动脉栓塞指数可用于评价 APE 右心功能、病情程度及预后。此外, 欧洲心脏病学会的最新指南认为 CTPA 在诊断方法和风险分层中也起着至关重要的作用。

## 7. 能谱 CT

双能 CT 目前已被应用于肺栓塞的检测及评估, 由于 DECT 及其独特的材料特异性成像能力被用于组织表征, 有助于评估肺实质灌注状态, 在一项荟萃分析中[26], DECT 在急性 PE 中显示出高灵敏度、特异性和诊断准确性。但也有研究表面[27], 在检测 PE 方面, 使用 DECT 血管造影与传统 CT 血管造影相比仅存在很小的差异, 在 2.3% 的检查使用碘图发现了新的 PE。1.1% 的患者诊断为新的 PE。在碘图上发现的所有额外的 PE 在位置上都是节段或亚节段, 大多数(89%)是闭塞性 PE。这些发现与动物研究相似。

光谱 CT 也是能谱 CT 的一种类型, 双层探测器设计, 常规扫描的同时实现光谱扫描, 可以做到真正的“三同”扫描(同时、同向、同源), 能量结果更精准, 反相关噪声模型的应用, 更低的噪声和更低的辐射剂量, 双层光谱探测器 CT 重建获得的能谱数据如碘密度图、有效原子序数图和尿酸图等可用于定性、定量分析病灶。碘密度图和有效原子序数图可评估软组织器官灌注情况, 早期发现组织灌注异常, 从而早期发现病变, 指导临床早期的干预和治疗, 正确判读预后, 尤其对心肌缺血和肺栓塞具有重要的价值[28]。

## 8. CAD

随着 CT 技术的发展, CTPA 已成为诊断疑似 PE 的首选检查技术, 然而, CTA 图像数量众多和复杂的解剖结构, 人工诊断肺栓塞是一件非常耗时、费力、复杂的事情, 需要医生有丰富的临床经验。CAD 具有快速准确诊断和评估急性 PE、简化工作流程的优势。在临床实践中, CAD 帮助放射科医生减少了 PE 检测和定量分析中的感知错误和工作量, 可以快速判断病情严重程度, 为临床合理治疗节省更多时间[29]。国内外近年关于 CAD 应用于肺栓塞的研究较多, 但大部分是关于栓子检测效能的研究, 定量 CT [30] 是一种基于几何学的计算机辅助诊断系统, 检测并分割可视化栓子, 量化栓子、栓子的附壁长度、栓子的体积等。目前, 有研究表明, CAD 较人工判读、快速、省时, 得到的多个定量参数与传统方法的相关性较好[31]。

## 9. 结语

目前, 在临床工作中对于中央型肺栓塞的诊断基本不会漏诊和误诊, 但是, 对于亚段及亚段以下栓子的检出, 仍然会有漏诊和误诊, 随着能谱 CT 的临床应用, 对于亚段及亚段以下的栓子的检出有很大的提高, 通过灌注的早期显示, 可以早期发现, 早期诊断, 对临床的治疗及预后有重要的意义。人工智能的应用, 对肺栓塞的检出效率有了极大的提高, 而且可以定量地去量化栓子的特征, 对于肺栓塞的检出及临床的治疗有一定的指导价值, 随着计算机技术的不断发展, 相信未来人工智能在医疗中会发挥更加重要的作用。

## 参考文献

- [1] ISTH Steering Committee for World Thrombosis Day (2014) Thrombosis: A Major Contributor to Global Disease Burden. *Thrombosis and Haemostasis*, **112**, 843-852. <https://doi.org/10.1160/th14-08-0671>
- [2] Wendelboe, A.M. and Raskob, G.E. (2016) Global Burden of Thrombosis: Epidemiologic Aspects. *Circulation Research*, **118**, 1340-1347. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.115.306841>
- [3] Uchida, N., Kodama, H., Katayama, K., Takasaki, T., Katayama, A., Takahashi, S. and Sueda, T. (2013) Endovascular Aortic Repair as Second-Stage Surgery after Hybrid Open Arch Repair by the Frozen Elephant Trunk Technique for Extended Thoracic Aneurysm. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, **19**, 257-261. <https://doi.org/10.5761/atcs.nm.12.01918>
- [4] Lee, Y.-H., Cha, S.-I., Kim, H., Kim, C.-Y., Choi, S.H., Seo, H., Yoo, S.-S., Lee, S.Y., Lee, J., Kim, C.-H. and Park, J.-Y. (2020) Clinical Characteristics and Outcome in Patients with Pulmonary Embolism Undergoing Coronary Angiography. *Vascular Medicine*, **25**, 157-159. <https://doi.org/10.1177/1358863X19900239>

- [5] Prandoni, P., Lensing, A.W., Prins, M.H., Ciammaichella, M., Perlati, M., Mumoli, N., Bucherini, E., Visonà, A., Bova, C., Imberti, D., Camprostrini, S. and Barbar, S. (2016) Prevalence of Pulmonary Embolism among Patients Hospitalized for Syncope. *New England Journal of Medicine*, **375**, 1524-1531. <https://doi.org/10.1056/NEJMoal602172>
- [6] 程显声. 急性肺栓塞的现代诊断与治疗(1) [J]. 中国临床医生, 2003, 31(4): 12-14.
- [7] Elliott, C.G., Goldhaber, S.Z., Visani, L. and DeRosa, M. (2000) Chest Radiographs in Acute Pulmonary Embolism. Results from the International Cooperative Pulmonary Embolism Registry. *CHEST*, **118**, 33-38. <https://doi.org/10.1378/chest.118.1.33>
- [8] Konstantinides, S.V., Meyer, G., Becattini, C., Bueno, H., Geersing, G.-J., Harjola, V.-P., Huisman, M.V., Humbert, M., Jennings, C.S., Jiménez, D., Kucher, N., Lang, I.M., Lankeit, M., Lorusso, R., Mazzolai, L., Meneveau, N., Ainle, F.N., Prandoni, P., Pruszczyk, P., Righini, M., Torbicki, A., Van Belle, E. and Zamorano, J.L. (2019) 2019 ESC Guidelines for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism Developed in Collaboration with the European Respiratory Society (ERS). *European Respiratory Journal*, **54**, Article ID: 1901647. <https://doi.org/10.1183/13993003.01647-2019>
- [9] Medson, K., Vargas-Paris, R., Nordgren-Rogberg, A., Sigbergdottir, A., Nyrén, S. and Lindholm, P. (2019) Primary Diagnosis of Pulmonary Embolism with Unenhanced MRI for Patients Not Eligible for CTPA: Clinical Outcome. *European Journal of Radiology Open*, **6**, 315-319. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2019.08.004>
- [10] Nyrén, S., Nordgren Rogberg, A., Vargas Paris, R., Bengtsson, B., Westerlund, E. and Lindholm, P. (2017) Detection of Pulmonary Embolism Using Repeated Mri Acquisitions Without Respiratory Gating: A Preliminary Study. *Acta Radiologica*, **58**, 272-278. <https://doi.org/10.1177/0284185116651003>
- [11] Pasin, L., Zanon, M., Moreira, J., Moreira, A.L., Watte, G., Marchiori, E. and Hochegger, B. (2017) Magnetic Resonance Imaging of Pulmonary Embolism: Diagnostic Accuracy of Unenhanced MR and Influence in Mortality Rates. *Lung*, **195**, 193-199. <https://doi.org/10.1007/s00408-017-9975-7>
- [12] Stein, P.D., Chenevert, T.L., Fowler, S.E., Goodman, L.R., Gottschalk, A., Hales, C.A., Hull, R.D., Jablonski, K.A., Leeper Jr., K.V., Naidich, D.P., Sak, D.J., Sostman, H.D., Tapson, V.F., Weg, J.G. and Woodard, P.K. (2010) Gadolinium-Enhanced Magnetic Resonance Angiography for Pulmonary Embolism: A Multicenter Prospective Study (PIOPED III). *Annals of Internal Medicine*, **152**, 434-443. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-152-7-201004060-00008>
- [13] Moore, A.J.E., Wachsmann, J., Chamrathy, M.R., Panjikanan, L., Tanabe, Y. and Rajiah, P. (2018) Imaging of Acute Pulmonary Embolism: An Update. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, **8**, 225-243. <https://doi.org/10.21037/cdt.2017.12.01>
- [14] Trivedi, S.J., Terluk, A.D., Kritharides, L., Chow, V., Chia, E.M., Byth, K., Mussap, C.J., Ng, A.C.C. and Thomas, L. (2020) Right Ventricular Speckle Tracking Strain Echocardiography in Patients with Acute Pulmonary Embolism. *The International Journal of Cardiovascular Imaging*, **36**, 865-872. <https://doi.org/10.1007/s10554-020-01779-8>
- [15] Andrade, I., García, A., Mercedes, E., León, F., Velasco, D., Rodríguez, C., Pintado, B., Pérez, A. and Jiménez, D. (2020) Need for Transthoracic Echocardiogram in Patients with Low-Risk Pulmonary Thromboembolism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archivos de Bronconeumología (English Edition)*, **56**, 306-313. <https://doi.org/10.1016/j.arbr.2020.03.006>
- [16] Jelic, T., Baimel, M. and Chenkin, J. (2017) Bedside Identification of Massive Pulmonary Embolism with Point-of-Care Transesophageal Echocardiography. *Journal of Emergency Medicine*, **53**, 722-725. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2017.08.011>
- [17] Bertini, P., Ribechini, A. and Guarracino, F. (2020) Improved Diagnosis of Pulmonary Embolism Causing Cardiac Arrest by Combined Endobronchial Ultrasound and Echocardiography. *Cardiovascular Ultrasound*, **18**, Article No. 25. <https://doi.org/10.1186/s12947-020-00208-z>
- [18] Bonnefoy, P.-B., Prevot, N., Mehdipoor, G., Sanchez, A., Lima, J., Font, L., Gil-Díaz, A., Llamas, P., Aibar, J., Bikdeli, B., Bertoletti, L. and Monreal, M. (2022) Ventilation/Perfusion (V/Q) Scanning in Contemporary Patients with Pulmonary Embolism: Utilization Rates and Predictors of Use in a Multinational Study. *Journal of Thrombosis and Thrombolysis*, **53**, 829-840. <https://doi.org/10.1007/s11239-021-02579-0>
- [19] Mahaletchumy, T., Muhamad, M. and Umar, S. (2020) Diagnosis of Pulmonary Embolism: A Comparison between Ventilation/Perfusion SPECT/CT and Perfusion-Only SPECT/CT. *Medical Journal of Malaysia*, **75**, 490-493.
- [20] Liu, J. and Larcos, G. (2019) Radionuclide Lung Scans for Suspected Acute Pulmonary Embolism: Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) or Hybrid SPECT/Ct? *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*, **63**, 731-736. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12951>
- [21] Zantonelli, G., Cozzi, D., Bindi, A., Cavigli, E., Moroni, C., Luvarà, S., Grazzini, G., Danti, G., Granata, V. and Miele, V. (2022) Acute Pulmonary Embolism: Prognostic Role of Computed Tomography Pulmonary Angiography (CTPA). *Tomography*, **8**, 529-539. <https://doi.org/10.3390/tomography8010042>
- [22] Cho, S.-U., Cho, Y.-D., Choi, S.-H., Yoon, Y.-H., Park, J.-H., Park, S.-J. and Lee, E.-S. (2020) Assessing the Severity

- of Pulmonary Embolism among Patients in the Emergency Department: Utility of RV/LV Diameter Ratio. *PLOS ONE*, **15**, e0242340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242340>
- [23] Cozzi, D., Moroni, C., Cavigli, E., Bindi, A., Caviglioli, C., Nazerian, P., Vanni, S., Miele, V. and Bartolucci, M. (2021) Prognostic Value of CT Pulmonary Angiography Parameters in Acute Pulmonary Embolism. *La Radiologia Medica*, **126**, 1030-1036. <https://doi.org/10.1007/s11547-021-01364-6>
- [24] Meinel, F.G., Nance Jr., J.W., Schoepf, U.J., Hoffmann, V.S., Thierfelder, K.M., Costello, P., Goldhaber, S.Z. and Bamberg, F. (2015) Predictive Value of Computed Tomography in Acute Pulmonary Embolism: Systematic Review and Meta-Analysis. *The American Journal of Medicine*, **128**, 747-759. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2015.01.023>
- [25] 邢媛媛, 赵佳佳, 曹宏伟, 等. CT 肺动脉阻塞指数在急性肺栓塞患者病情评估中的作用[J]. 山东医药, 2018, 58(20): 50-52.
- [26] Abdellatif, W., Ebada, M.A., Alkanj, S., Negida, A., Murray, N., Khosa, F. and Nicolaou, S. (2021) Diagnostic Accuracy of Dual-Energy CT in Detection of Acute Pulmonary Embolism: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Canadian Association of Radiologists Journal*, **72**, 285-292. <https://doi.org/10.1177/0846537120902062>
- [27] Weidman, E.K., Plodkowski, A.J., Halpenny, D.F., Hayes, S.A., Perez-Johnston, R., Zheng, J., Moskowitz, C. and Ginsberg, M.S. (2018) Dual-Energy CT Angiography for Detection of Pulmonary Emboli: Incremental Benefit of Iodine Maps. *Radiology*, **289**, 546-553. <https://doi.org/10.1148/radiol.2018180594>
- [28] Rajiah, P., Abbara, S. and Halliburton, S.S. (2017) Spectral Detector CT for Cardiovascular Applications. *Diagnostic and Interventional Radiology*, **23**, 187-193. <https://doi.org/10.5152/dir.2016.16255>
- [29] Sun, Z.-T., Hao, F.-E., Guo, Y.-M., Liu, A.S. and Zhao, L. (2020) Assessment of Acute Pulmonary Embolism by Computer-Aided Technique: A Reliability Study. *Medical Science Monitor*, **26**, e920239. <https://doi.org/10.12659/MSM.920239>
- [30] 吴继雄, 张良金, 张文俊, 等. CT 定量检测技术对 COP D 合并肺栓塞患者的诊断价值研究[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2019, 40(3): 271-274.
- [31] 沈聪, 周晟, 于楠, 等. 基于计算机辅助检测对急性肺栓塞栓子的定量研究[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2018, 41(5): 370-373.