

论 著

比值法在平扫CT上诊断急性肺栓塞的临床应用价值研究*

杜竞赛¹ 袁庆蕾¹ 喻 婷¹
赵雅男¹ 姚阳阳¹ 肖 健¹
岳甜甜¹ 熊建国¹ 黄依莲¹
王春红¹ 高兴军¹ 曲金荣^{2,*}

1.信阳市中心医院影像科(河南 信阳 464000)
2.郑州大学附属肿瘤医院(河南省肿瘤医院)放射科(河南 郑州 450008)

【摘要】目的 探讨比值法在平扫CT上诊断急性肺栓塞的临床应用价值。方法 回顾性收集2022年1月至2024年12月于我院就诊的可疑肺栓塞患者，所有患者均接受胸部平扫CT及CT肺动脉造影检查(CTPA)。以CTPA结果作为“金标准”，将研究对象分为栓塞组与非栓塞组。由两名放射医师分别测量各中央肺动脉的CT值，并计算其与肺动脉干的比值。采用组内相关系数(ICC)分析两名医师测量的一致性。采用受试者操作特征(ROC)曲线分析比值法诊断肺栓塞的性能，计算其曲线下面积(AUC)及截断值。结果 共纳入139名患者，两名医师测量结果的一致性较高(ICC > 0.75)。栓塞组与非栓塞组比值的中位数分别是1.32(1.15, 1.58)与0.98(0.90, 1.06)，差异存在统计学意义(P<0.05)。比值法诊断急性肺栓塞的AUC为0.888，敏感度和特异度分别为79.74%和87.04%，最佳截断值为1.13。结论 比值法在平扫CT上诊断急性肺栓塞的准确率高且简便实用，值得临床推广。

【关键词】比值；平扫CT；中央肺动脉；肺栓塞
【中图分类号】R563
【文献标识码】A
【基金项目】河南省医学科技攻关计划联合共建项目(LHGJ20240856202002021)
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.08.016

Clinical Value of Ratio Method in the Diagnosis of Acute Pulmonary Embolism on CT Plain Scan*

DU Jing-sai¹, YUAN Qing-lei¹, YU ting¹, ZHAO Ya-nan¹, YAO Yang-yang¹, XIAO Jian¹, YUE Tian-tian¹, XIONG Jian-guo¹, HUANG Yi-lian¹, WANG Chun-hong¹, GAO Xing-jun¹, QU Jin-rong^{2,*}.
1.Department of Radiology, Xinyang Central Hospital,Xinyang 464000, Henan Province, China
2.Department of Radiology, The Affiliated Cancer Hospital of Zhengzhou University & Henan Cancer Hospital, Zhengzhou 450008, Henan Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the clinical value of the ratio method in diagnosing acute pulmonary embolism on CT plain scan. **Methods** Retrospectively collected patients with suspected pulmonary embolism who visited our hospital from January 2022 to December 2024. All patients underwent CT plain scans and CT pulmonary angiography (CTPA). The CTPA results were used as the gold standard, and the study subjects were divided into embolism group and non-embolism group. Two radiologists measured the CT attenuation values of each central pulmonary artery and calculated the ratio with the pulmonary trunk. The consistency of the measurements by the two radiologists was analyzed using the intraclass correlation coefficient (ICC). The performance of the ratio method in diagnosing pulmonary embolism was analyzed using the receiver operating characteristic (ROC) curve, and the area under the curve (AUC) and the optimal cut-off value were calculated. **Results** A total of 139 patients were included. The consistency of the measurement results of the two radiologists was high (ICC > 0.75). There was a statistically significant difference in the ratio between the embolism group and the non-embolism group (P<0.05). The AUC of the ratio method for diagnosing acute pulmonary embolism was 0.888, with a sensitivity of 79.74% and a specificity of 87.04%, and the cut-off value was 1.13. **Conclusion** The ratio method is simple and practical, and it has a high accuracy in diagnosing acute pulmonary embolism on CT plain scan, which is worthy of clinical promotion.

Keywords: Ratio; CT Plain Scan; Central Pulmonary Artery; Acute Pulmonary Embolism

急性肺栓塞(acute pulmonary embolism, APE)是临床上常见的一种急危重症，其有着较高的发病率和死亡率，在急性心血管病死亡原因中排名第三^[1-3]。其症状主要表现为胸闷、胸痛、咳血、呼吸困难等，但缺乏一定的特异性^[4]。早期诊断对改善患者预后至关重要。影像学检查在急性肺栓塞的诊断中起着重要作用^[5]。目前计算机断层扫描肺动脉造影(computed tomography pulmonary angiography, CTPA)被认为是诊断肺栓塞首选的“金标准”^[6]，大量研究及临床实践均证明其具有较高的敏感性和特异性^[5-7]。然而，CTPA检查存在着一定的禁忌证，如造影剂过敏、肾功能不全、严重甲亢等，且检查费用相对较高。部分患者由于临床症状不典型或首诊医生初步诊断不充分而未能第一时间接受CTPA检查，且未经有效的初步诊断直接行CTPA检查可能导致过度检查、医疗资源浪费、医疗费用增加及患者辐射暴露等问题^[8]。此时，胸部平扫CT往往是临床医生的首选检查方式。

胸部平扫CT用于诊断急性肺栓塞已有多年的历史^[9]，但其总体准确性并不令人满意。在胸部平扫CT上，肺动脉管腔内“高密度征”被认为是急性肺栓塞的一个有价值的征象，其他间接征象主要包括肺动脉主干增粗、肺外带楔形致密影和胸腔积液等^[10-12]，但这些间接征象的特异性均较低，多种其他胸部疾病也可出现上述表现。近年来随着影像设备及技术的发展，双能量CT、核素肺通气/灌注显像、单光子发射计算机断层扫描和磁共振成像等技术也逐渐应用于肺栓塞的诊断^[13]。然而，对于可疑肺栓塞的患者而言，胸部平扫CT仍然是应用最广泛的临床一线检查手段，其扫描速度快，图像质量高，价格相对低，既能初步评估大血管是否存在异常，又能够同时评估胸部其他脏器情况，有利于胸痛患者的初步诊断和鉴别诊断。本研究旨在探讨比值法在胸部平扫CT上诊断急性肺栓塞的临床应用价值，以期提高胸部平扫CT诊断急性肺栓塞的准确率。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性纳入2022年1月至2024年12月于我院就诊的可疑肺栓塞患者139例，其中男66例，女73例，年龄21~93岁，平均年龄(64.9±12.5)岁。本研究经医院伦理委员会批准同意，豁免了书面的患者知情同意书，患者姓名信息已做隐匿化处理。

纳入标准：年龄 ≥ 18岁；具有胸闷、胸痛、咳血、呼吸困难等症状，临床怀疑急性肺栓塞；同时行胸部平扫CT及CTPA检查；临床资料完整。排除标准：临床资料缺失；CT图像伪影重，影响诊断或测量。胸部平扫CT与CTPA检查间隔时间较长(>1天)。

1.2 设备与扫描协议 采用 Philips Brilliance iCT进行扫描。病人取仰卧位，双臂上举，头先进，胸部平扫CT扫描范围自胸廓入口处至肋膈角下缘2~3cm。扫描参数：管电压120 kV，管电流179 mA，螺距0.992，层厚、层间距均为5mm，重建层厚1 mm，视

【第一作者】杜竞赛，男，主治医师，主要研究方向：胸腹部疾病影像诊断。E-mail: djs1916@163.com
【通讯作者】曲金荣，女，主任医师，主要研究方向：胸腹部疾病影像诊断。E-mail: qjryq@126.com

野 350 mm×350 mm，矩阵512×512，旋转时间 0.5 s/r。CTPA 检查采用小剂量测试法，40~50mL碘海醇(350mg I/mL, GE)，注射流速5.0 mL/s。

1.3 图像分析 所有图像经影像归档和通信系统(picture archiving ad communication systems, PACS)传输至阅片工作站，由2名分别具有3年和7年胸部影像诊断经验的放射医师采用5分法进行图像质量评分，剔除图像质量较差的病例(≤2分)。在轴位/纵隔窗(窗宽350, 窗位40)测量每位患者各个中央肺动脉(central pulmonary artery, CPA)的平均CT值，要求ROI尽量覆盖整个管腔，避开血管壁钙斑。然后计算比值，比值=各部位中央肺动脉的平均CT值/肺动脉干平均CT值。

1.4 诊断标准 以CTPA结果作为参照标准，肺栓塞表现为在充盈高密度造影剂的肺动脉中出现充盈缺损。

1.5 统计学方法 采用 MedCalc 22.0 统计软件进行数据分析。计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数(四分位距)表示，两组间比较采用独立样本 t 检验或Mann-Whitney U检验。计数资料以例(%)表示。采用组内相关系数(ICC)评估 2 名医师测量的一致性。ICC < 0.4 表示一致性较低，0.4 ≤ ICC < 0.75 表示一致性中等，ICC > 0.75 表示一致性较高。利用受试者操作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线分析CT值比值诊断肺栓塞的效能，并计算其曲线下面积(area under the curve, AUC)及其截断值、敏感度和特异度。P<0.05认为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 患者基本特征 本研究共入组患者139例，患者症状和体征主要表现为胸闷、胸痛、咳嗽、咯血、呼吸困难，多伴有肺部异常。共测量上述患者的1529处中央肺动脉，共检出32位患者的153处肺栓塞，详见表1。

表1 患者基本特征	
特征	结果
年龄(岁)	64.9 ± 12.5
性别	
男	66 (47.5%)
女	73 (52.5%)
症状/体征	
胸闷/胸痛	121 (87.1%)
咳嗽	27 (19.4%)
咯血	2 (1.4%)
呼吸困难	35 (25.2%)
肺部表现	
无明显异常	26 (18.7%)
斑片影	83 (59.7%)
楔形实变影	4 (2.9%)
胸腔积液	37 (26.6%)
马赛克征	19 (13.9%)
血栓分布情况	
肺动脉分叉处	5 (3.3%)
右肺动脉	7 (4.8%)
右肺动脉分叉处	15 (9.8%)
右上肺动脉	24 (15.7%)
右中肺动脉	23 (15.0%)
右下肺动脉	22 (14.4%)
左肺动脉	5 (3.3%)
左肺动脉分叉处	13 (7.0%)
左上肺动脉	19 (8.5%)
左下肺动脉	20 (13.1%)

2.2 一致性分析 两名阅片者关于图像质量评分及各中央动脉平均CT值的测量一致性较好(ICC>0.75, P<0.05)，详见表2。

表2 阅片者一致性分析			
参数	ICC	95% CI	P值
图像质量评分	0.811	0.764-0.852	<0.001
CT值测量	0.769	0.711-0.819	<0.001

2.3 两组间比较 根据CTPA结果，将研究对象分为栓塞组和非栓塞组。记录两组各中央动脉与肺动脉干的比值。经正态性检验，两组资料不符合正态分布，采用 Mann - Whitney U检验进行两组间比值的比较，结果显示差异具有统计学意义，详见表3。

表3 两组间比值的比较					
组别	部位数	比值(中位数, 95%置信区间)	四分位数间距	Z值	P值
血栓组	153	1.32(1.283-1.417)	(1.15, 1.58)	-15.660	<0.01
非血栓组	1385	0.98(0.972-0.987)	(0.90, 1.06)		

2.4 ROC曲线分析 以各中央动脉与肺动脉干的比值为检测变量，以有无肺栓塞作为二分类变量，绘制比值的ROC曲线。结果显示，比值法诊断肺栓塞的AUC为0.888，约登指数为0.668，截断值为1.13，其敏感度和特异度分别为79.74%和87.04%，见图1。

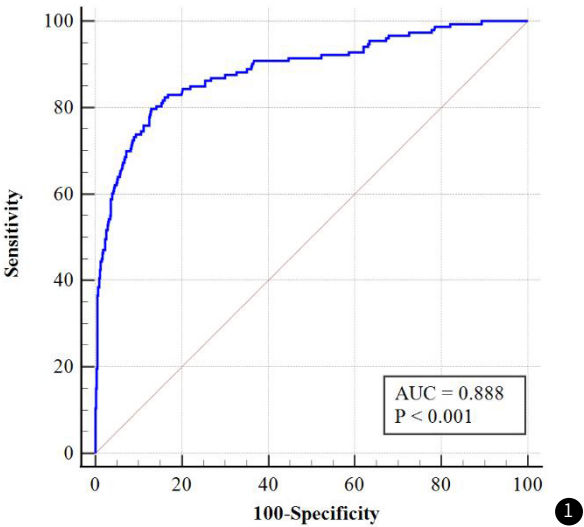


图1 中央动脉与肺动脉干的比值在平扫CT上诊断急性肺栓塞的ROC曲线。

3 讨 论

肺栓塞是临床上易导致猝死的急危重症之一，其具有漏诊率、误诊率及死亡率高的特点，威胁人们生命健康的同时也带来了巨大的社会负担^[14-16]。早发现、早诊断是治疗该病的关键^[17]。目前CTPA被认为是诊断急性肺栓塞的“金标准”，但该项检查需要注射造影剂，存在一定的禁忌证，如肾功能不全、严重甲亢或者造影剂过敏的患者则不宜做该项检查；另外，我国部分基层医院及乡镇卫生院尚未开展增强CT检查。目前多种检查，如核素肺灌注—通气显像、双能CT及MRI均可用于诊断肺栓塞^[18-21]，但上述检查过程相对繁琐、耗时，对于急症、重症肺栓塞患者并不作为首选。胸部平扫CT具有安全、快捷、廉价、实用等优势，能

够对大多数胸部疾患起到诊断或排除诊断的作用,一直以来是临床首选的一线检查。胸部平扫CT诊断肺栓塞的历史已久,既往主要依据平扫CT上肺动脉“高密度征”及肺动脉管径增粗、胸腔积液、马赛克征、肺不张/肺梗死等间接征象来诊断肺栓塞^[22]。但“高密度征”出现概率低,容易被诊断医生忽视,且受部分容积效应的影响较大;其他间接征象则缺乏特异性。本研究基于栓塞形成的病理基础,根据血栓与正常流动血液之间的CT衰减值的差异,创新性地采用各中央肺动脉与其自身的肺动脉干CT值进行比较,研究结果显示该方法诊断中央肺动脉栓塞的AUC值高达0.888,且操作简便,展现出了较大的临床应用潜力。

本研究结果显示比值法诊断中央肺动脉急性肺栓塞的敏感性 & 特异性分别达到了79.74%和87.04%。Vincent R等人^[23]报道“高密度征”诊断中央肺栓塞的敏感度和特异度为66.7%和99.1%,但该征象出现几率较低(36%)。这一点与我们的临床实践经验基本相符。吴世明等人^[24]通过分析平扫CT血栓的CT值与肺动脉干的CT值,发现两者之间存在显著性差异,我们的研究结果与其一致。但是笔者认为采用绝对CT值诊断肺栓塞具有一定的局限性,因为正常血液及血栓的CT值与患者自身的红细胞压积等血细胞成分、数量有关^[25],每个患者之间都存在一定的差异,采用绝对CT值诊断是否栓塞不具有广泛适用性。而本研究采用中央肺动脉与其自身肺动脉干CT值的比值,相对于进行了标准化处理,去除了个体间红细胞压积等因素对CT值的干扰,使得研究结果更加客观、准确。该方法有其内在的理论基础,即急性肺栓塞大多数由于下肢深静脉血栓脱落导致栓子阻塞肺动脉^[4,25],血栓是由于血液水分减少、血细胞浓缩而形成,其主要成分是红细胞和纤维蛋白,其与正常流动的血液CT值之间存在着一定的差异^[26]。然而人眼对于CT值变化的分辨能力有限,仅能识别16个灰阶,因此往往难以在平扫CT上发现肺栓塞部位与正常肺动脉血液之间CT值的差异。比值法采用量化的方式,通过计算不同部位中央肺动脉与其自身肺动脉干的CT值的比值来发现这种异常,无疑是更为精确的、客观的诊断方式。

本研究结果显示血栓组比值明显高于非血栓组,差异具有统计学意义,且非血栓组的比值接近1,即不同部位中央肺动脉与肺动脉干血液的CT值基本相等,上述结果在理论和临床实践上均相符。通过ROC曲线分析,约登指数等于0.668时得出截断值为1.13,同时具有良好的灵敏度与特异度。基于本研究结果,比值法展现出了良好的诊断能力,该方法充分挖掘了平扫CT诊断肺栓塞的潜在价值,无造影剂使用的相关禁忌及风险,简单易操作,可作为临床可疑肺栓塞患者的有效筛查工具,有望提高平扫CT诊断急性肺栓塞的准确率,同时降低其漏诊及误诊率。

本研究存在一定的局限性:(1)回顾性研究的本质,可能给研究带来选择偏移。(2)病例数相对较少,由于本研究需要患者同时行胸部平扫CT及CTPA检查,入组条件严苛,因此病例收集相对困难。鉴于这是比值法在平扫CT上诊断急性肺栓塞的首次应用,下一步需扩大样本量、进行多中心、前瞻性研究来进一步验证其准确性及临床实用性。(3)本研究对象主要是中央肺动脉,未关注段以下的小肺动脉。原因有二,一是中央肺动脉栓塞是引起血流动力学紊乱的主要原因,其死亡率高预后差,需临床重点关注,二是段以下的肺动脉管径较细,CT值测量容易产生偏差。

综上所述,比值法能够在平扫CT上有效提示肺栓塞,该方法简便易行、准确性高,可作为临床可疑急性肺栓塞患者的初筛工具。

参考文献

- [1]Turetz M,Sideris A,Friedman O,et al.Epidemiology,pathophysiology,and natural history of pulmonary embolism[J].Semin Intervent Radiol,2018,35:92-98.
- [2]Hepburn-Brown M,Darvall J,Hammerschlag G.Acute pulmonary embolism:a concise review of diagnosis and management[J].Internal Medicine Journal,2019,49:15-27.
- [3]Duffett L,Castellucci LA,Forgie MA.Pulmonary embolism:update on management and controversies[J].BMJ,2020,370:m2177.
- [4]Freund Y,Cohen-Aubart F,Bloom B.Acute pulmonary embolism:a review[J].JAMA-J AM MED ASSOC,2022,328(13):1336-1345.
- [5]Schoepf UJ,Costello P.CT Angiography for diagnosis of pulmonary embolism:state of the art[J].Radiology,2004,230:329-337.
- [6]KONSTANTINIDES S V,MEYER G,BECATTINI C,et al.2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS)[J].Eur Heart J,2020,41(4):543-603.
- [7]余建康.肺动脉栓塞影像诊断研究进展[J].影像技术,2018,30(2):76-77,69.
- [8]Demelo-Rodriguez P,Galeano-Valle F,Salzano A,et al.Pulmonary embolism:a practical guide for the busy clinician[J].Heart Fail Clin,2020,16(3):317-330.
- [9]Remy-Jardin M,Remy J,Wattinne L,et al.Central pulmonary thromboembolism:diagnosis with spiral volumetric CT with the single-breath-hold technique--comparison with pulmonary angiography[J].Radiology,1992,185:381-387.
- [10]Gotway MB,Webb WR.Acute pulmonary embolism:visualization of high attenuation clot in the pulmonary artery on noncontrast helical chest CT[J].Emergency Radiology,2000,7:117-119.
- [11]Cobelli R,Zompatori M,De Luca G,et al.Clinical usefulness of computed tomography study without contrast injection in the evaluation of acute pulmonary embolism[J].Journal of Computer Assisted Tomography,2005,29:6-12.
- [12]Ehsanbakhsh A,Hatami F,Valizadeh N,et al.Evaluating the performance of unenhanced computed tomography in the diagnosis of pulmonary embolism[J].J Tehran Heart Cent,2021,16(4):156-161.
- [13]De Jong CMM,Kroft LJM,Van Mens TE,et al.Modern imaging of acute pulmonary embolism[J].Thrombosis Research,2024,238:105-116.
- [14]连天宇,严欣欣,荆志成.真实世界:中国医学科学院阜外医院血栓中心处理急性肺栓塞的临床实践——与欧洲心脏学会急性肺栓塞指南之对照[J].中国实用内科杂志,2016,36(2):126-130.
- [15]贾卫滨,王大军,付学菊,等.中国部分地区不同级别医院肺栓塞诊治状况的调查研究[C]//中华医学会心血管病学分会.中华医学会第11次心血管病学术会议论文摘要集.山东省临沂市人民医院、山东省聊城市第二人民医院、广西医科大学第一附属医院、贵州省人民医院,2009:290.
- [16]Zhang Z,Lei J,Shao X,et al.Trends in hospitalization and in-hospital mortality from VTE,2007 to 2016,in China[J].CHEST,2019,155(2):342-353.
- [17]潘曜明,解迪.肺栓塞诊治新认识[J].实用休克杂志(中英文),2021,5(3):133-137.
- [18]石俊岭,张岭岭,王海洋,等.SPECT/CT肺灌注显像与肺通气/灌注平面显像在肺栓塞诊断中的应用比较[J].中国CT和MRI杂志,2020,18(6):79-81.
- [19]Roman Johannes Gertz,Felix Gerhardt,Michael Pienn,等.基于双层双能CT衍生的肺灌注图鉴别急性肺栓塞和慢性血栓性肺动脉高压[J].国际医学放射学杂志,2024,47(4):495.
- [20]沈晨,尚文博,陈张敏,等.磁共振对肺栓塞诊断价值的Meta分析[J].中国循证医学杂志,2017,17(7):768-773.
- [21]罗显丽,李邦国.急性肺动脉栓塞影像诊断的研究进展[J].中国CT和MRI杂志,2015,13(1):116-119.
- [22]杨洁瑾,刘敬.64层螺旋CT平扫对肺栓塞诊断的应用价值[J].临床医药实践,2014,23(1):43-44.
- [23]Tatco VR,Piedad HH.The validity of hyperdense lumen sign in non-contrast chest CT scans in the detection of pulmonary thromboembolism[J].Int J Cardiovasc Imag,2011,27(3):433-440.
- [24]吴世明,陈龙兴,唐震.CT平扫在急性肺栓塞中的诊断意义[J].医学影像学杂志,2017,27(4):652-655.
- [25]杨剑,黄锦钊,袁国奇,等.肺动脉CTA联合间接法盆腔下肢静脉CTV在肺动脉栓塞诊断中的作用[J].罕少疾病杂志,2017,24(5):6-7,13.
- [26]New PF,Aronow S.Attenuation measurements of whole blood and blood fractions in computed tomography[J].Radiology,1976,121(3):635-640.

(收稿日期:2025-04-29)

(校对编辑:江丽华、赵望淇)