

论 著

胸部CT测量指标在AECOPD-PH诊断中的价值研究

刘毅勇 刘丽霞 霍凤芝*

1. 联勤保障部队第九六九医院放射科

2. 北京大学肿瘤医院内蒙古医院呼吸内科

(内蒙古呼和浩特 010052)

【摘要】目的 研究胸部CT测量指标在诊断慢性阻塞性肺疾病急性加重期(AECOPD)并发肺动脉高压(PH)中的应用价值。**方法** 对我院在2021年11月至2023年11月期间接收并治疗的90例慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)患者进行了深入的回顾性研究。详细收集了这些患者的基础临床信息以及经胸超声心动图(TTE)等数据。所有患者在入院后都接受了高分辨率CT扫描(HRCT),从中获取了包括主肺动脉直径(mPA)、肺动脉与主动脉横截面直径的比值(PA/A)、肺小血管横截面积(直径小于5mm²的部分)以及肺动脉角(PA角)等关键参数。利用特定的软件,对这些图像进行了深入的分析,得出了胸部HRCT升主动脉直径(mAo)、平均肺密度(mLD),以及低密度衰减区域百分比(LAA%)(包括LAA% < -950 Hu和LAA% < -910 Hu两种阈值)等定量数据。参考TTE的检查结果,将肺动脉高压(PH)发生可能性较低和中等患者归入对照组(n=46),而将高可能性的患者归入观察组(n=44)。对比两组患者的临床数据以及肺血管、肺实质的相关参数,以此探究AECOPD-PH发生的影响因素。最后,使用受试者工作曲线(ROC)来深入分析胸部CT测量指标在诊断AECOPD-PH中的准确性和有效性。**结果** 观察组PO₂、pH低于对照组,PCO₂高于对照组(P < 0.05);观察组mAo、mPA、PA/A高于对照组,PA角低于对照组(P < 0.05);观察组mLD低于对照组, LAA% ≤ -910 Hu及LAA% < -950 Hu高于对照组(P < 0.05); ROC曲线分析显示, mAo、mPA、PA/A、PA角、mLD、LAA% ≤ -910 Hu、LAA% < -950 Hu诊断AECOPD-PH AUC分别为: 0.829、0.799、0.704、0.352、0.823、0.875、0.954; ROC曲线的成对比较结果显示, CD4+~CD8+、CD4+~TNF-α、CD4+~联合诊断均无显著差异(P > 0.05); CD8+~联合诊断、TNF-α联合诊断成对比较结果差异显著(P < 0.05)。**结论** 在慢性阻塞性肺疾病(COPD)急性发作期伴随肺动脉高压(AECOPD-PH)的患者中,肺动脉内径和肺动脉收缩压与主动脉压的比值(PA/A)是评价病情的重要指标。同时,我们的前期研究发现,肺部CT扫描在AECOPD-PH的诊断中具有关键作用。特别是,通过肺部CT获得的影像学指标如平均肺密度(mLD)和低密度减低区百分数(如LAA < -910 Hu)等,对于深入理解和评估患者的病情具有不可或缺的价值。这些指标不仅有助于我们更精确地掌握患者的肺部状况,还能临床治疗和管理决策提供有力的支持。

【关键词】 慢性阻塞性肺疾病急性加重;
肺动脉高压; 胸超声心动图;
高分辨率CT扫描; 受试者工作曲线

【中图分类号】R563

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.12.021

The Value of Chest CT Measurement Indicators in the Diagnosis of AECOPD-PH

LIU Yi-yong, LIU Li-xia, HUO Feng-zhi*

1. Department of Radiology, the 969th Hospital of the Joint Logistics Support Force, Hohhot 010052, Inner Mongolia, China

2. Department of Respiratory Medicine, Inner Mongolia Hospital, Peking University Cancer Hospital, Hohhot 010052, Inner Mongolia, China

ABSTRACT

Objective To study the value of chest CT measurements in the diagnosis of pulmonary hypertension (PH) complicating acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (AECOPD). **Methods** An in-depth retrospective study of 90 patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (AECOPD), who were admitted and treated between November 2021 and November 2023 at our hospital, was conducted. Detailed basic clinical information and data such as transthoracic echocardiography (TTE) were collected from these patients. All patients underwent a high-resolution CT scan (HRCT) on admission, from which key parameters including the main pulmonary artery diameter (mPA), the ratio of the cross-sectional diameter of the pulmonary artery to that of the aorta (PA/A), the cross-sectional area of the small pulmonary vessels (the portion with a diameter of less than 5 mm²), and the angle of the pulmonary arteries (angle of the PA) were obtained. Using specific software, these images were analysed in depth, yielding quantitative data such as thoracic HRCT ascending aortic diameter (mAo), mean lung density (mLD), and percentage of low-density attenuation area (LAA%) (including two thresholds, LAA% < -950 Hu and LAA% < -910 Hu). With reference to the results of the TTE, patients with a low and intermediate likelihood of developing pulmonary hypertension (PH) were categorised into the control group (n=46), while patients with a high likelihood were categorised into the observation group (n=44). Clinical data as well as parameters related to the pulmonary vasculature and lung parenchyma were compared between the two groups as a means of investigating the factors influencing the development of AECOPD-PH. Finally, the accuracy and validity of chest CT measurements in the diagnosis of AECOPD-PH were analysed in depth using the subject's working curve (ROC). **Results** PO₂ and pH in the observation group were lower than those in the control group, and PCO₂ was higher than those in the control group (P < 0.05); mAo, mPA, PA/A in the observation group were higher than those in the control group, and PA angle was lower than those in the control group (P < 0.05); mLD in the observation group was lower than those in the control group, and LAA% ≤ -910 Hu and LAA% < -950 Hu were higher than those in the control group (P < 0.05); the analysis of the ROC curve showed that mAo, mPA, PA/A, PA angle, mLD, LAA% ≤ -910 Hu and LAA% < -950 Hu diagnosed AECOPD-PH AUC were 0.829, 0.799, 0.704, 0.352, 0.823, 0.875, and 0.954, respectively; and the results of pair-wise comparisons of the ROC curves showed that CD4+~CD8+, CD4+~TNF-α, and CD4+~ co-diagnosis were not significantly different (P > 0.05); the results of pairwise comparison of CD8+~ co-diagnosis and TNF-α co-diagnosis were significantly different (P < 0.05). **Conclusion** In patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) accompanied by pulmonary hypertension (AECOPD-PH), the internal diameter of the pulmonary artery and the ratio of pulmonary artery systolic pressure to aortic pressure (PA/A) are important indicators for evaluating the condition. Meanwhile, our preliminary study found that lung CT scanning has a key role in the diagnosis of AECOPD-PH. In particular, imaging indices such as mean lung density (mLD) and percentage of hypodense hypoplasia area (e.g., LAA < -910 Hu) obtained by lung CT are of indispensable value for an in-depth understanding and evaluation of the patient's condition. These metrics not only help us to more accurately grasp a patient's lung condition, but also provide strong support for clinical treatment and management decisions.

Keywords: Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease; Pulmonary Arterial Hypertension; Thoracic Echocardiography; High Resolution CT Scanning; Subject Work Song

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)简称“慢阻肺”,是气流受限引发呼吸困难产生的肺部疾病,患者活动时可见气短、呼吸困难等症状,休息后可得到缓解^[1]。该病为呼吸系统的常见病和多发病之一,在COPD的发展中,已明确吸烟为独立危险因素^[2],加之人口老龄化等因素影响,全球范围内,COPD的发病率、死亡率呈逐年上升趋势,全球约有COPD患者2.51亿,我国COPD患者也高达1亿^[3],对国家及家庭均造成巨大负担^[4]。COPD患者病原体感染、环境改变等引起的病情恶化称之慢性阻塞性肺疾病急性加重(acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease, AECOPD),临床可见痰量增多、呼吸困难等症状,肺功能进一步恶化,发生呼吸衰竭、痰栓阻塞气道、心力衰竭等,患者生活质量下降,再入院、死亡风险大幅提高^[5-6]。肺动脉高压(pulmonary hypertension, PH)是COPD公认的并发症,由于肺泡毛细血管网大量缺失、通气/灌注缺陷,使肺实质、肺间质长期遭到破坏,继而导致二氧化碳滞留、缺氧,损伤肺血管床,引发PH^[7-8],约有20%~90%的COPD病人会继发PH^[9]。大部分慢性阻塞性肺疾病并发肺动脉高压(COPD-PH)的患者,在病情形成的早期阶段,是可以经过细致的诊断被及时识别的。在这个关键时期,如果能够给予

【第一作者】刘毅勇,男,副主任医师,主要研究方向:医学影像诊断。E-mail: liuyy20032000@163.com

【通讯作者】霍凤芝,女,主任医师,主要研究方向:呼吸系统疾病。E-mail: huofengzhi8888@163.com

患者及时的干预治疗,将显著地改善患者的生活质量,同时降低他们因病情恶化而频繁住院的风险,进而减轻患者的经济压力。然而,目前对于PH的诊断,经右心导管试验(RHC)仍被视为金标准^[10-11]。需要指出的是,RHC是一项有创检查,它带有一定的风险性,并且由于其检查过程的复杂性,重复性相对较差。这意味着,对于需要多次评估病情变化的患者来说,RHC可能并不是一个理想的选择。已有证据表明心脏彩超与右心导管实验有良好相关性^[12],可作为筛查PH的首选,但COPD常合并肺气肿,一定程度影响了测量结果的准确性,且无法显示COPD患者肺实质、肺间质及纵隔等病情变化。因此,寻找新的PH诊断及预测指标变得越来越重要。相较于心脏彩超,胸部CT不仅可对肺实质、肺间质进行观察,且为无创检查,操作简便,还可直观进行图像对比,准确性较高。在此背景下,本研究应用胸部CT测量指标对AECOPD-PH进行诊断,旨在评估胸部CT测量指标对AECOPD-PH的诊断价值。现报道如下:

1 资料与方法

1.1 一般资料 对联勤保障部队第九六九医院2021年11月至2023年11月收治的90例AECOPD患者展开回顾性研究。

纳入标准:年龄>18岁;符合COPD诊断标准^[13];符合AECOPD诊断标准^[14];临床资料完整。排除标准:合并其他影响肺部功能疾病者;合并可能影响肺血管疾病者;既往肺部手术史者;支气管扩张试验阳性或限制性通气功能障碍。

1.2 分组方法 根据TTE检查结果,将PH发生低、中可能性患者纳入对照组(n=46)、高可能性患者纳入观察组(n=44)。

1.3 资料收集 一般资料,包括年龄、性别、身高、体重、吸烟指数和肺功能指标;采集动脉血进行血气分析,记录PO₂、PCO₂和pH。

(1)胸部HRCT检查:在进行GE HD750 CT扫描时,调整了以下参数。管电压设置为120千伏,管电流设置为120-240毫安,重建层厚设置为1毫米。(2)肺血管参数:在进行GE HD750 CT扫描时,调整的参数包括管电压(120千伏)、管电流(120毫安)和重建层厚(1毫米)。在测量过程中,测量了左右肺动脉分叉处的主肺动脉直径(mPA)、升主动脉的最大直径(Ao)以及肺动脉角(PA角),并计算了主肺动脉与升主动脉直径的比值(PA/A)。这些测量结果通常记录在图1、图2中。(3)肺实质参数:使用Lung Enhanced算法分析全肺扫描数据,获取平均肺密度(mLD)和低衰减区域(<-910Hu或-950Hu)占肺总体积的百分比(LAA%)。

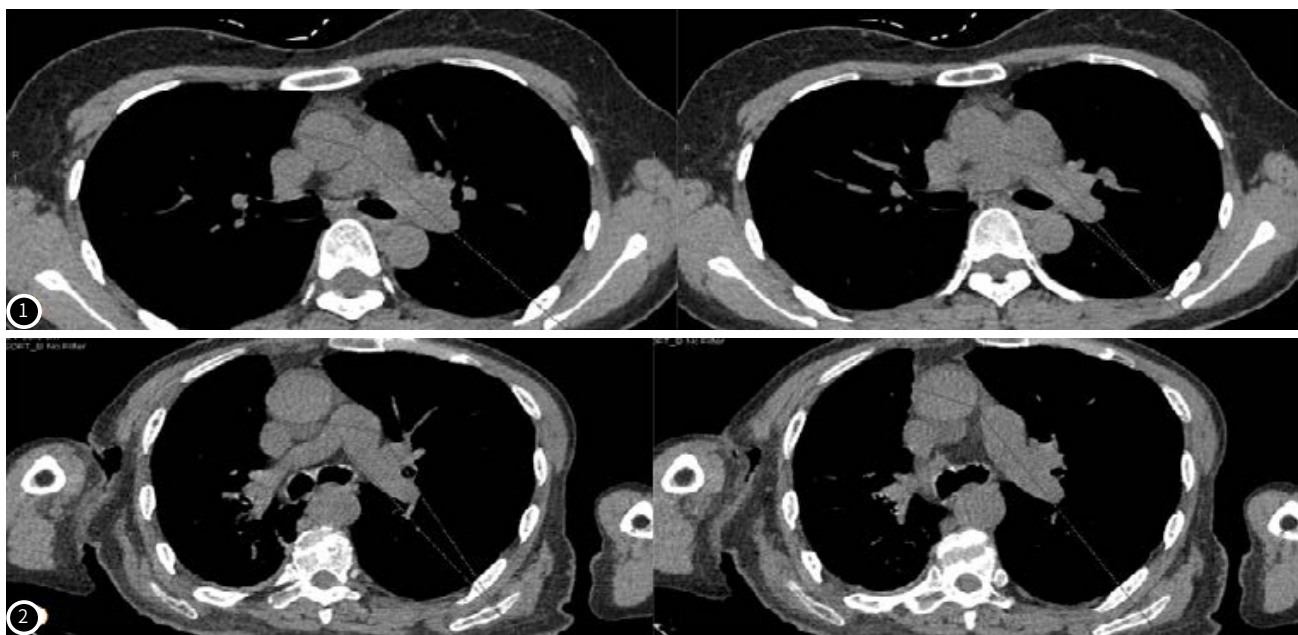


图1 对照组主肺动脉的直径(main pulmonary artery, mPA)、升主动脉的最大直径(ascending aorta, Ao)以及肺动脉角(PA角)测量。

图2 观察组主肺动脉的直径(main pulmonary artery, mPA)、升主动脉的最大直径(ascending aorta, Ao)以及肺动脉角(PA角)测量。

1.4 统计学方法 利用EpiData 4.0软件来构建数据库,并运用SPSS 27.0软件开展深入的统计分析。在处理计量资料时,首先实施单样本K-S检验,以确定数据是否符合正态分布。如果数据服从正态分布,我们将使用平均数±标准差($\bar{x} \pm s$)的方式来展示这些数据,并通过t检验对两组数据进行对比分析。如果数据并不符合正态分布,我们将采用中位数以及四分位数范围[M(P₂₅, P₇₅)]来表示这些数据,同时运用曼-惠特尼检验方法。对于定性资料,我们将通过频数、发生率和构成比等参数进行详尽描述,同时使用[n,(%)]来具体表示这些计数数据,用 χ^2 检验;胸部CT测量指标对AECOPD-PH的诊断效能使用受试者工作特性(ROC)曲线评价;P<0.05表示研究结果具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料对比 结果显示,在性别、年龄、吸烟指数、身体质量指数(BMI)以及第一秒用力呼气量占用力肺活量的比值(FEV1/FVC)方面,两组患者之间并未发现统计学上的显著差异(P>0.05)。相较于对照组,观察组的氧分压(PO₂)和酸碱度(pH)均较低,而二氧化碳分压(PCO₂)则较高,这些差异均具有统计学意义(P<0.05)。见表1。

2.2 两组患者胸部CT肺血管参数值对比 根据研究结果,观察组的平均主动脉搏压(mAo)、平均肺动脉压(mPA)以及肺动脉收缩压与主动脉搏压的比值(PA/A)均显著高于对照组,而肺动脉角度(PA角)则明显低于对照组,这些差异均具有统计学意义(P<0.05),见表2。

表1 两组患者一般资料对比[n,(%); M(P₂₅,P₇₅)]

项目	对照组(n=46)	观察组(n=44)	Z/χ ² /t	P
性别	男	44(95.65)	1.526	0.217
	女	2(4.35)		
年龄(岁)	69.28±7.84	71.20±9.65	1.038	0.302
吸烟指数(包·年)	38.46±17.77	41.69±21.12	-0.573	0.567
BMI(kg/m ²)	22.20±1.38	21.64±1.27	-1.917	0.055
PO ₂	68.45(64.26,72.08)	65.18(56.12,69.49)	-2.284	0.022
PCO ₂	40.28(36.97,46.82)	56.75(36.85,66.69)	-3.140	0.002
pH	7.39±0.03	7.36±0.05	-2.688	0.007
FEV1/FVC	46.37±11.46	51.23±13.71	-1.743	0.081

2.3 两组患者肺部CT肺实质参数值对比 结果显示, 观察组mLD低于对照组, LAA%≤-910Hu及LAA%<-950Hu高于对照组(P<0.05), 见表3。

2.4 胸部测量指标对AECOPD-PH的诊断效能评估 ROC曲线分析显示, mAo、mPA、PA/A、PA角、mLD、LAA%≤-910 Hu、

表2 两组患者肺部CT肺血管参数值对比

项目	对照组(n=46)	观察组(n=44)	Z/χ ²	P
mAo	33.33±3.14	37.51±3.13	6.323	<0.001
mPA	29.62±3.13	34.40±4.69	5.710	<0.001
PA/A	0.89±0.10	0.96±0.13	2.871	0.005
PA角	91.69±13.36	84.37±14.58	-2.485	0.015

LAA%<-950 Hu诊断AECOPD-PH AUC分别为: 0.829、0.799、0.704、0.352、0.823、0.875、0.954, 见表3、图3; ROC曲线的成对比较结果显示, CD4+~CD8+、CD4+~TNF-α、CD4+~联合诊断均无显著差异(P>0.05); CD8+~联合诊断、TNF-α联合诊断成对比较结果差异显著(P<0.05)。见表4。

表3 两组患者肺部CT肺实质参数值对比[M(P₂₅,P₇₅)]

项目	对照组(n=46)	观察组(n=44)	Z/χ ²	P
mLD	-701.2	-712.83	-5.279	<0.001
	(-709.34,-695.09)	(-716.46,-710.36)		
LAA%≤-910Hu	28.93±11.11	48.96±12.30	8.114	<0.001
LAA%<-950Hu	4.36±1.95	20.67±7.74	13.843	<0.001

表4 胸部测量指标对AECOPD-PH的诊断效能评估

项目	AUC	P	95%CI	敏感度	特异性	截断值
mAo	0.829	<0.001	0.744~0.913	0.806	0.565	35.00 mm
mPA	0.799	<0.001	0.705~0.894	0.621	0.803	32.50 mm
PA/A	0.704	0.001	0.593~0.815	0.463	0.870	0.950
PA角	0.352	0.016	0.237~0.467	0.770	0.202	79.40°
mLD	0.823	<0.001	0.732~0.914	0.796	0.876	-707.85 Hu
LAA%≤-910 Hu	0.875	<0.001	0.795~.955	1.000	0.701	30.85%
LAA%<-950 Hu	0.954	<0.001	0.903~1.000	1.000	0.735	6.93%

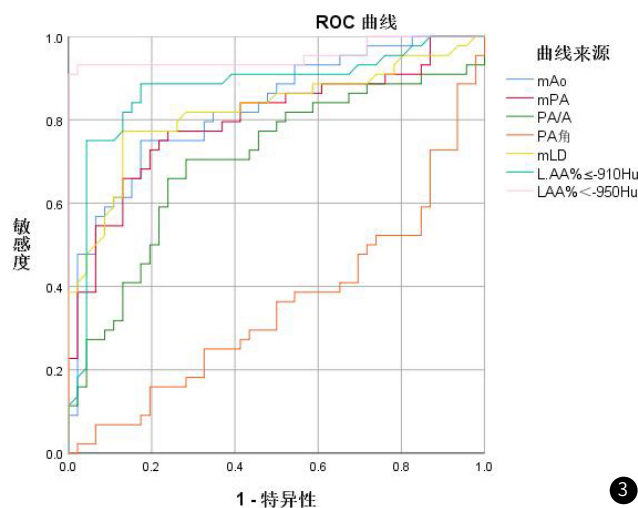


图3 胸部测量指标诊断AECOPD-PH的ROC曲线。

3 讨论

COPD作为一种常见的呼吸系统疾病, 其导致的PH是影响病情进展和预后的重要因素^[15]。由于COPD患者常处于缺氧状态并伴随呼吸系统炎症, 这使得肺血管收缩、肺血管阻力增大, 进而推高了肺动脉压力。PH的发生不仅可能引发AECOPD, 还可能使患者面临发展为慢性肺源性心脏病的风险, 对预后产生不利影响。在诊断方面, 低氧性PH患者的特殊性使得有创检查不适用, 而超声心动图虽可用于PH筛查, 但其准确性可能受到肺气肿等因素的影响, 且无法揭示COPD患者的全面肺部病变。相比之下, 胸部HRCT以其非侵入性、高清晰度和可重复性强的特点, 在AECOPD-PH的诊断中显示出巨大价值。特别是通过CT肺血管定量评估, 我们能够更有效地筛查PH患者并准确评估其病情严重程度, 为治疗提供明确方向。这种方法不仅提升了诊断的精准性, 还为患者治疗策略的制定提供了有力支持, 彰显了胸部HRCT在AECOPD-PH诊断中的重要地位。

在本研究中, 观察组PO₂、pH低于对照组, PCO₂高于对照组(P<0.05); 观察组mAo、mPA、PA/A高于对照组, PA角低于对照组(P<0.05); 观察组mLD高于对照组, LAA%≤-910Hu及LAA%<-950Hu高于对照组(P<0.05); ROC曲线分析显示, mAo、mPA、PA/A、PA角、mLD、LAA%≤-910 Hu、LAA%<-950 Hu诊断AECOPD-PH AUC分别为: 0.829、0.799、0.704、0.352、0.823、0.875、0.954。测量mAo、mPA及PA角, 计算PA/A比值, 可反映肺血管变化。通常PA/A<1; 随COPD进展发生肺动脉扩张、高压, PA/A升高。Wells JM等^[16]证实肺大血管相关参数评估PH时PA/A预测COPD-PH的有效性。GOLD指南中^[13], PA/A>1可增加患者急性加重风险, 且与病情严重程度呈正相关。兰玉霞^[12]的研究也证实, 随PA/A增大, COPD-PH患者死亡率提高、存活率下降。本研究中, PA/A>0.95是最佳截断值; mAo、mPA截断值分别为: 35.00 mm、32.50 mm,

对诊断有统计学意义；PA角AUC仅为0.352，对AECOPD-PH诊断价值低。不同研究中，PA/A等参数截断值因研究对象、样本量不同而各异，需结合其他指标综合分析。由于患者右心室出现肥大和扩大的情况，导致肺动脉收缩压(PASP)上升，这可能会被错误地解读为类似于酸碱度(pH)的值。然而，需要注意的是，肺动脉收缩压与主动脉压的比值(PA/A)会受到患者年龄和性别等多种因素的影响，因此可能存在一定的误差。尽管如此，PA/A作为一种既无创又无辐射的检测方法，在肺动脉高压的早期诊断和治疗过程中仍然具有不可忽视的重要作用。总之，HRCT肺血管参数为AECOPD-PH诊断、治疗和预后提供重要参考。

肺实质的mLD评估肺组织气体滞留的重要参数^[17]。mLD提示肺实质破坏和肺密度降低，与AECOPD患者的呼吸功能受损有关。倪其鸣等^[18]证实，mLD可作为诊断AECOPD-PH及其危险分层的指标，与肺气肿情况及严重程度密切相关。本研究得出的结论与此一致，mLD<-707.85 Hu是诊断AECOPD-PH的最佳截断值，此外，大量研究^[19-21]探讨了HRCT测得的数据与肺功能的相关性，认为平均肺密度及低密度衰减区体积与FEV1%pred、FVC%pred和FEV1/FVC等指标存在关联，对AECOPD-PH有良好的预测价值，可用于评估疾病严重程度。在诊断和评估AECOPD-PH(慢性阻塞性肺疾病急性加重期并发肺动脉高压)的过程中，mLD(平均肺密度)作为一种简便、精准且无创的检测手段，展现出了其不可或缺的价值。通过对AECOPD患者的胸部CT图像进行深入观察，我们可以发现肺实质的多种变化，这些变化包括肺实质的受损、肺结节的形成、肺叶大小的改变，以及肺实质密度和透光性的不均匀。这些细微的改变都能够在CT图像上被精准地捕捉和识别。为了更具体地评估COPD患者肺实质的破坏情况，低密度衰减区体积百分比(LAA%)成了一个重要的参数^[22]。在CT扫描中，LAA%特指CT值低于某一设定阈值的体积占据全肺体积的比例。经过详细的统计分析，我们发现将LAA%的临界值设定为低于-910Hu或-950Hu时，能够最有效地识别出相关情况。具体来说，当LAA值低于-910Hu时，其占比为30.85%，而低于-950Hu时，占比为6.93%。简而言之，这两个临界值帮助我们更准确地评估和分类。这一发现揭示了低密度衰减区的增加与肺实质受损及气道狭窄之间的紧密联系，而这种联系可以在胸部HRCT图像上直观地观察到。进一步讲，低密度衰减区的扩展为我们提供了一种有效的手段来评估COPD中诸如空气滞留等肺实质破坏的情况^[23]。

综上所述，在胸部CT的诸多参数中：肺血管参数mAo(主动脉直径)、mPA(主肺动脉直径)、PA/A(肺动脉与主动脉直径比)及%CSA<5(横截面积小于5mm²的血管百分比)对于AECOPD-PH的诊断及其危险分层具有显著的诊断价值。肺实质参数mLD(平均肺密度)、%LAA<-910Hu及-950Hu(低密度衰减区体积百分比)在AECOPD-PH的诊断及危险分层中同样展现出了重要的诊断意义。这些参数的综合运用，不仅提升了诊断的精确度，还为患者的治疗和管理提供了更为全面的依据。

参考文献

[1]李继霞,米晶晶.布地奈德福莫特罗粉吸入剂联合复方异丙托溴铵溶液雾化用于慢阻肺并发肺动脉高压的临床研究[J].贵州医药,2023,47(2):228-230.

- [2]Labaki WW,Rosenberg SR.Chronic obstructive pulmonary disease[J].Ann Intern Med.2020,173(3):ITC17-ITC32.
- [3]Wang C,Xu J,Yang L,et al.Prevalence and risk factors of chronic obstructive pulmonary disease in China (the China Pulmonary Health [CPH] study):a national cross-sectional study [J].Lancet,2018,391(10131):1706-1717.
- [4]丁帅.生活环境和职业暴露与慢性阻塞性肺疾病关系研究[D].南京:东南大学,2021.
- [5]王明航,毕雨婷,赵欢欢,等.慢性阻塞性肺疾病急性加重再入院影响因素[J].中国老年学杂志,2022,42(13):3354-3356.
- [6]MacLeod M,Papi A,Contoli M,et al.Chronic obstructive pulmonary disease exacerbation fundamentals: diagnosis, treatment, prevention and disease impact [J].Respirology.2021;26(6):532-551.
- [7]Nathan SD,Barbera JA,Gaine SP,et al.Pulmonary hypertension in chronic lung disease and hypoxia[J].European Respiratory Journal,2019,53(1):1801914.
- [8]刘知远.高原地区老年慢性阻塞性肺疾病合并肺心病患者临床特征及吸氧治疗现状.罕少疾病杂志[J],2023,11(30)1-2.
- [9]Nathan SD,Barbera JA,Gaine SP,et al.Pulmonary hypertension in chronic obstructive pulmonary disease and emphysema patients: prevalence, therapeutic options and pulmonary circulatory effects of lung volume reduction surgery [J].J Thorac Dis,2018,10(Suppl 23):S2763-S2774.
- [10]李文婷,袁平,吴常伟,等.右心房压力联合二氧化碳通气当量斜率预测慢性血栓栓塞性肺动脉高压患者预后的价值研究[J].中国循环杂志,2020,35(7):670-676.
- [11]翟慧萍,张大未,李岩等.超声心动图,ECG,及联合检查对PAU-CHD肺动脉压力预测价值观察.罕少疾病杂志[J],2020,27(01)11-13.
- [12]兰玉霞.探讨胸部CT在慢性阻塞性肺疾病合并肺动脉高压中的诊断价值[D].宁夏医科大学内科学,2019.
- [13]Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease home page on Internet.Global strategy for diagnosis, management, and prevention of COPD(updated 2020) [J]. Available from :http://www.Gold Copd.org. Accessed October 16, 2020.
- [14]梁振宇,王凤燕,陈荣昌.慢性阻塞性肺疾病诊治指南(2021年修订版)的重要更新解读及展望[J].国际呼吸杂志,2021,19(41):1457-1461.
- [15]Blanco I,Piccarri L,Barbera J A.Pulmonary vasculature in COPD: The silent component [J].Respirology,2016,21(6):984-994.
- [16]Wells JM,Washko G R,Han M K,et al.Pulmonary arterial enlargement and acute exacerbations of COPD[J].N Engl J Med,2012,367(10):913-921.
- [17]黄晓旗,白利杰,沈聪,等.慢性阻塞性肺疾病患者双气相CT扫描平均肺密度与肺功能的相关性研究[J].西安交通大学学报(医学版),2019,40(2):178-181.
- [18]倪其鸣,虞凌明,焦静.低剂量宝石能谱CT测量肺气肿指数、平均肺密度在评估肺病患者肺功能的价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2019,17(9):45-48.
- [19]Paoletti M,Cestelli L,Bigazzi F,et al.Chronic obstructive pulmonary disease: pulmonary function and CT lung attenuation do not show linear correlation[J].Radiology,2015,276(2):571-578.
- [20]Oguma T,Hirai T,Fukui M,et al.Longitudinal shape irregularity of airway lumen assessed by CT in patients with bronchial asthma and COPD[J].Thorax,2015,70(8):719-724.
- [21]Lv R,Xie M,Jin H,et al.A preliminary study on the relationship between high-resolution computed tomography and pulmonary function in people at risk of developing chronic obstructive pulmonary disease[J].Frontiers in Medicine,2022,9:855640.
- [22]Yamashiro T,Miyara T,Honda O,et al.Iterative reconstruction for quantitative computed tomography analysis of emphysema: consistent results using different tube currents[J].Int J Chron Obstruct Pulmon Dis,2015,10:321-327.
- [23]Zinellu E,Piras B,Ruzittu G G M,et al.Recent advances in inflammation and treatment of small airways in asthma[J].International Journal of Molecular Sciences,2019,20(11):2617.

(收稿日期: 2024-07-29)

(校对编辑: 翁佳鸿)