

# 影像诊断技术与炎症标记物在COPD中的应用及联合研究现状

徐梦月, 宫凤玲

华北理工大学附属医院医学影像中心CT二科, 河北 唐山

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月6日; 发布日期: 2026年4月14日

## 摘要

慢性阻塞性肺疾病(Chronic Obstructive Pulmonary Disease, COPD)作为全球高致死性慢性气道疾病, 具有患病率、死亡率、致残率高的特点, 给社会和家庭带来沉重负担, 其早期筛查、精准诊断与个性化诊疗成为临床研究重点。本文通过文献综述形式, 阐述COPD的病因、病理生理机制及防控治疗现状, 重点分析影像学技术与炎症标记物在COPD诊疗中的应用价值, 以及二者联合应用的研究现状。肺功能检查是COPD诊断金标准, 但存在敏感性不足的缺陷; 定量CT、双气相CT、显微CT及MRI等影像学技术可精准识别肺部病理改变, 实现COPD早期诊断、病情评估与预后监测; NLR、IL-6、CRP等血清炎症标记物可有效反映COPD炎症程度, 预测急性加重风险并辅助病情分级。目前定量CT与炎症标记物的联合应用多聚焦于COPD预后监测, 可提升预测效能并为临床诊疗提供更全面的参考依据。未来, 多学科协作下影像学技术与炎症标记物的深度融合, 将进一步推动COPD精准医疗发展, 为制定个性化防控和治疗方案提供重要支撑。

## 关键词

慢性阻塞性肺疾病, 影像学技术, 炎症标记物, 定量CT

# Application and Combined Research Status of Imaging Diagnostic Techniques and Inflammatory Markers in Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD)

Mengyue Xu, Fengling Gong

CT II Division, Medical Imaging Center, The Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

## Abstract

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD), a highly fatal chronic airway disease worldwide, is characterized by high morbidity, mortality and disability rates, imposing a heavy burden on society and families. Its early screening, accurate diagnosis and personalized diagnosis and treatment have become the focus of clinical research. This paper expounds the etiology, pathophysiological mechanism, prevention, control and treatment status of COPD in the form of literature review, and focuses on analyzing the application value of imaging technologies and inflammatory markers in the diagnosis and treatment of COPD, as well as the research status of their combined application. Pulmonary function test is the gold standard for COPD diagnosis, but it has the defect of insufficient sensitivity. Imaging technologies such as quantitative computed tomography (QCT), dual-phase CT, micro-CT and magnetic resonance imaging (MRI) can accurately identify pulmonary pathological changes and realize early diagnosis, disease assessment and prognostic monitoring of COPD. Serum inflammatory markers such as neutrophil-to-lymphocyte ratio (NLR), interleukin-6 (IL-6) and C-reactive protein (CRP) can effectively reflect the inflammatory degree of COPD, predict the risk of acute exacerbation and assist in disease grading. At present, the combined application of quantitative CT and inflammatory markers mainly focuses on the prognostic monitoring of COPD, which can improve the prediction efficiency and provide a more comprehensive reference for clinical diagnosis and treatment. In the future, the in-depth integration of imaging technologies and inflammatory markers under multidisciplinary collaboration will further promote the development of precision medicine for COPD and provide important support for formulating personalized prevention, control and treatment plans.

## Keywords

Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Imaging Technology, Inflammatory Marker, Quantitative Computed Tomography

Copyright © 2026 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. COPD 简介

### 1.1. COPD 概述

慢性阻塞性肺疾病(chronic obstructive pulmonary disease, COPD)是一种以持续的气流受限与相应的呼吸道症状为特点的, 可以进行预防 and 治疗的慢性气道疾病[1]。2019年, 在世界卫生组织的统计中表明 COPD 在全球致死性疾病中已排名第三。COPD 在 40 岁以上的人群中的发病率为 13.6%。慢阻肺有“三高”表现, 即患病率高、死亡率高、致残率高, 该疾病的家庭及社会负担十分沉重, 作为一种重大慢性疾病, 已经严重地危害了人类健康。因此, 对于该疾病的预防和诊治都十分有研究价值[2]-[4]。

### 1.2. COPD 病因及病理生理

慢性阻塞性肺病(COPD)的病因众多, 最传统的因素被认为是吸烟, 然而, 全球约有一半的 COPD 病例是由于非烟草相关风险因素造成的, 这些因素包括空气污染、环境烟草烟雾、职业暴露、传染病等[5]。

所以 COPD 的致病因素及病理生理是相当复杂的, 目前还没有单一的机制可以解释 COPD 的复杂病理 [6]。

慢性阻塞性肺疾病(COPD)的发病是多因素、多机制协同作用的复杂过程, 各机制相互关联、相互影响, 共同推动气道炎症持续进展、肺功能进行性下降及肺组织重塑。炎症反应[7]是其核心驱动机制, 贯穿疾病全程, 有害刺激可诱导气道及肺组织炎症细胞浸润并释放炎症介质, 加重病理损伤, 还可与其他病理过程相互作用, 为干预提供靶点。氧化应激[8]源于氧化与抗氧化系统失衡, 诱发活性氧增多, 加重损伤并形成恶性循环, 还可通过表观遗传修饰参与发病。此外, 蛋白酶-抗蛋白酶失衡[9]直接破坏肺组织, 免疫紊乱[10]关联疾病慢性化与急性加重, 自噬异常[11]呈“双刃剑”效应, 气道黏液高分泌[12]导致气流受限, 这些机制相互协同, 共同参与 COPD 发病。

## 2. COPD 的诊断

### 2.1. 肺功能检查(PFT): 金标准

肺通气功能检测作为 COPD 的金标准, 即吸入支气管舒张剂后, 患者的  $FEV_1/FVC < 0.7$  或正常值下限。根据  $FEV_1$  占预计值的百分比, 将 COPD 分为 GOLD 4 个级别, 1 级为  $FEV_1 \geq 80\%$  预计值, 2 级为  $50\% \leq FEV_1 < 80\%$  预计值, 3 级为  $30\% \leq FEV_1 < 50\%$  预计值, 4 级为  $FEV_1 < 30\%$  预计值 [13]。

### 2.2. 影像技术在 COPD 诊断中的应用

慢性阻塞性肺病(COPD)是一种非均质性的病变, 随着病情的进展, 肺小血管和肺小气道可以发生重塑, 再进一步将发展为肺气肿。虽然目前对 COPD 患者诊断的金标准仍然是肺功能测定法, 但肺功能测定法测量的结果反映的是所有可能的 COPD 病理的总和, 这容易让人们忽视气道和实质异常的不同贡献。随着近年来胸部电子计算机 X 射线断层扫描(computed tomography, CT)和磁共振成像(magnetic resonance angiography, MRI)的进展, 可以识别和测量肺结构和功能的异常所在的可能区域范围。我们便能够更精准的对 COPD 患者的病理改变进行了解并对此进行治疗 [6] [13]。

胸部 CT 可以通过气道形态、结构改变、肺气肿程度来评价肺功能受损情况。近期研究中, 在 CT 扫描中可常在气管或支气管道中见到点状或条状沿支气管走形的高密度影, 被称之为粘液栓。粘液栓被定义为完全阻塞气道管腔的浑浊。有研究表明, COPD 患者会出现粘液分泌过多的现象 [6], 有些患者会出现咳嗽咳痰等临床症状, 而有些则是隐匿性的 [14]。CT 能够尽早地识别粘液栓并指导临床对其进行靶向治疗, 可对 COPD 患者或 COPD 高危人群起到早期防控的效果 [14]。

胸部定量 CT 可以通过量化肺实质、气道和肺血管的方式来评价其严重程度并对急性加重风险进行预测 [13]。胸部定量 CT 的基本原理是基于 CT 图像, 经过特定的软件分析对肺组织进行定量测量。这些测量指标包括平均肺密度(MLD) [15]肺气肿所占百分比(LAA%)、气道壁截面积平方根(如  $Pi10$ )、管腔直径(LD)、气道壁截面积(WA)、气道壁厚度(WT)等。这些指标即可评估肺气肿、气道壁增厚等的程度和分布。定量 CT 既可用于 COPD 的早期诊断 [16]。为了更早地发现 COPD 的病理改变, 我们可以使用定量 CT 去测量肺气肿的分布和气道壁的增厚程度, 这也能提高对 COPD 患者诊断的敏感性, 从而弥补了肺功能检查敏感性低的缺点。定量 CT 不仅可以更加精确、客观的分析肺部异常, 在早期有效的发现病变, 而且可用于不能进行肺功能检查的特殊人群 [17]。定量 CT 在 COPD 的病情评估 [18] 与预后 [19] 也有很大的优势。定量 CT 还可以通过对肺气肿和气道壁增厚程度的量化, 对该病情的严重程度和分布特点进行评估。根据这些定量 CT 的指标, 临床医生可以针对不同的 COPD 患者将治疗方案制定得更个性化, 同时对治疗效果进行评估以及监测预后。

双气相 CT(吸气末和呼气末 CT)可以通过检测空气滞留,实现 COPD 的早期诊断及诊疗个性化评价,指导治疗和管理。有研究表明,双气相定量 CT 对既可以评估 COPD 的严重程度[20],还可以评价 COPD 患者小气道病变和肺气肿程度[21]。而且随着胸部低剂量 CT 技术的发展,对于 COPD 易感人群行双气相扫描也是符合伦理要求的[22]。而且双气相定量 CT 相对于单气相定量 CT,其可收集和提供的数据更全面、更丰富,更有利于精准医疗。所以,双气相定量 CT 是一种很有前途的测量方法[20]。

显微 CT (microCT)在 COPD 诊断中的应用也大有用途。microCT 可以准确定位细支气管, [24]并可识别出终末细支气管(TB)的数量,例如有研究就表明,利用 microCT 测量出 COPD 患者终末细支气管(TB)的数量较正常人减少,第 5 代小气道以及终末前(TB-1) [25]和终末细支气管(TB-2) [26]也变窄。此外,microCT 和组织学的结合也首次观察到, COPD 患者的 B 细胞浸润到 TB-1 和 TB-2 壁的增加与被肺泡附着的小气道的破坏有关[23]。还有研究者使用 microCT 对 COPD 进行研究发现, COPD 患者小气道的病变是先于肺气肿的。COPD 患者的终末细支气管较正常人终末细支气管,其直径会缩小 100 倍、数目也会减少 10 倍以上[27]。microCT 能从更微观的角度去观察 COPD 疾病的病变发展过程,也能更好地与病理学相互印证,这对于 COPD 的诊治提供了良好的技术手段。

尽管由于肺组织的独特特性,肺部 MRI 在技术上仍然具有挑战性,但使用传统方法的 MRI 和超极化惰性气体有助于改变我们对 COPD 的理解。尽管受到低信号强度的阻碍,但肺部 1H MRI 可以在传统扫描仪上进行,而无需大量的物理支持。例如,可以通过将弛豫信号和静脉造影剂相结合的方法,来区分炎症[28]、平滑肌重塑、水肿和粘液沉积[28] [29]。传统的 1H MRI 可以将肺气肿可视化和量化[30],水肿与粘液沉积的鉴别[28] [29]以及肺气肿与粘液栓的鉴别[31];这些发现表明 1H MRI 可能有助于揭示 COPD 的许多方面。目前,还可以通过使用吸入  $^3\text{He}$  和  $^{129}\text{Xe}$  气体的高极化惰性气体 MRI 来对通气进行可视化和量化[32]。

### 3. COPD 相关炎症标记物及意义

#### 3.1. 炎症标记物的定义与分类

炎症标记物是体内免疫应答过程中产生的生物物质,通常在炎症反应期间增加。它们可以在血液、体液或组织样本中检测到,并与多种炎症性疾病的发生和发展相关。慢性气道炎症在 COPD 的发生及进展过程中发挥着关键作用。感染是导致 COPD 急性加重的重要因素,所以通过血清检测找到感染源并及时对症治疗能大大降低 COPD 的急性加重风险。常见的 COPD 相关炎症标记物化验指标包括中性粒细胞/淋巴细胞(neutrophil-to-lymphocyte ration, NLR)、白介素-6 (IL-6)、C-反应蛋白(CRP)、血清淀粉样蛋白 A (SAA)、血小板计数/淋巴细胞计数(PLR)、血清嗜酸性粒细胞(ESO) [33]等。

#### 3.2. 炎症标记物在 COPD 中的意义

这些指标对 COPD 有着不同的意义,大量文献研究显示,NLR、IL-6 水平、血清 CRP、血清 SAA、血清嗜酸性粒细胞(ESO)等指标均会在急性加重期(AECOPD)患者中明显升高。因此,若我们检测到这些指标的升高,并提前对这类患者进行早期干预,就能降低 AECOPD 的发生,延缓 COPD 的疾病发展进程 [34]-[40]。也有文献表明,血清 SAA、血清 PLR、血清 ESO 等指标还和急性加重期(AECOPD)严重程度呈正相关。因此,临床上可以根据这些指标为 COPD 分级提供重要补充[38]。

### 4. 定量 CT 与炎症标记物的联合应用现状

目前,国内外对定量 CT 与炎症标记物的联合应用在对 COPD 的应用多在对 COPD 的预后监测方面。有文章显示,CT 肺功能定量参数与最大吸气末容积(maximal inspiratory volume, MIV)、最大呼气末容积

(maximum expiratory volume, MEV)及中性粒细胞与淋巴细胞比值(neutrophil-to-lymphocyte ration, NLR)三者联合时对预测患者的预后具有较好的效能。杨璐[41]等人的研究也显示, 在阻塞性肺疾病急性加重期(AECOPD) CT 定量参数的一些参数如(LAA%及部分 WT、WA)血 EOS 表达水平均呈弱负相关。

从病理生理机制来看, 持续炎症是气道壁增厚的启动因素。气道上皮反复受损后, 中性粒细胞、嗜酸性粒细胞等免疫细胞大量募集至气道黏膜下层, 释放组胺、TGF- $\beta$  等炎症介质[42]。这些介质诱导气道平滑肌细胞增殖肥厚[43], 同时引发黏膜下血管通透性增加、水肿及黏液腺增生, 进一步增加气道壁体积。长期反复炎症激活成纤维细胞, 促进胶原蛋白沉积, 导致上皮基底膜纤维化增厚, 即气道重构, 这是气道壁增厚从可逆向不可逆转变的核心[44]。

气道壁增厚又会加重炎症持续与功能损伤, 通过缩小管腔、加剧缺氧放大炎症, 损伤纤毛功能导致病原体滞留, 还会促进免疫细胞黏附活化, 维持慢性炎症, 最终导致肺功能进行性下降, 这是 COPD 病情难控的关键[45]。

临床中, 早期控制炎症可阻断气道壁不可逆重构, 气道壁明显增厚后需综合治疗。定量 CT 结合炎症生物标志物, 可为疾病早期诊断与疗效评估提供重要依据。

## 5. 总结与展望

慢性阻塞性肺病(COPD)的致死率虽然已排名至全球第三位, 但其为一个可预防、可治疗的疾病。又因为 COPD 是一个进行性发展的慢性疾病, 对该疾病进行早期的诊断和预防就显得尤为重要。随着现代医疗的发展, 对于该疾病的认识与诊断也不应只止步于其金标准——肺功能检查。通过大量的文献阅读, 不难发现 CT 对于 COPD 的诊断是愈加成熟的, 再辅以实验室的血清学炎症指标, 这些影像学以及实验室结果对于临床上该疾病的预防和诊疗是越来越意义重大的。COPD 的诊治更是一个需要多学科协作和综合治疗的疾病。呼吸科、影像科、康复科、中医等多个科室的医生和护理人员应共同参与患者的诊断和治疗过程。通过多学科协作, 为 COPD 患者制定更加个性化的治疗方案, 从而提高疗效, 同时减少并发症。

## 参考文献

- [1] 王妍, 闫巍, 张昊天. 《2024 年 GOLD 慢性阻塞性肺疾病诊断、管理及预防全球策略》更新要点解读[J]. 实用心脑血管病杂志, 2024, 32(2): 1-8.
- [2] Fang, L., Gao, P., Bao, H., Tang, X., Wang, B., Feng, Y., *et al.* (2018) Chronic Obstructive Pulmonary Disease in China: A Nationwide Prevalence Study. *The Lancet Respiratory Medicine*, **6**, 421-430. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(18\)30103-6](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(18)30103-6)
- [3] Wang, C., Xu, J., Yang, L., Xu, Y., Zhang, X., Bai, C., *et al.* (2018) Prevalence and Risk Factors of Chronic Obstructive Pulmonary Disease in China (the China Pulmonary Health [CPH] Study): A National Cross-Sectional Study. *The Lancet*, **391**, 1706-1717. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(18\)30841-9](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)30841-9)
- [4] 世界中医药学会联合会内科专业委员会. 慢性阻塞性肺疾病中西医结合诊疗指南(2022 版) [J]. 中国循证医学杂志, 2023, 23(10): 1117-1128.
- [5] Yang, I.A., Jenkins, C.R. and Salvi, S.S. (2022) Chronic Obstructive Pulmonary Disease in Never-Smokers: Risk Factors, Pathogenesis, and Implications for Prevention and Treatment. *The Lancet Respiratory Medicine*, **10**, 497-511. [https://doi.org/10.1016/s2213-2600\(21\)00506-3](https://doi.org/10.1016/s2213-2600(21)00506-3)
- [6] Cerveri, I. and Brusasco, V. (2010) Revisited Role for Mucus Hypersecretion in the Pathogenesis of COPD. *European Respiratory Review*, **19**, 109-112. <https://doi.org/10.1183/09059180.00002710>
- [7] Huang, J., Zhou, X., Xu, Y., Yu, C., Zhang, H., Qiu, J., *et al.* (2025) Shen Qi Wan Regulates OPN/CD44/PI3K Pathway to Improve Airway Inflammation in COPD: Network Pharmacology, Bioinformatics, and Experimental Validation. *International Immunopharmacology*, **144**, Article 113624. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2024.113624>
- [8] 李琪, 曾惠清, 蔡芋晴, 等. 氧化应激及其标志物在慢性阻塞性肺疾病中的研究进展[J]. 中国呼吸与危重监护杂志, 2022, 21(7): 528-532.

- [9] Li, C. and Liu, S. (2024) Exploring Molecular Mechanisms and Biomarkers in COPD: An Overview of Current Advancements and Perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, **25**, Article 7347. <https://doi.org/10.3390/ijms25137347>
- [10] Sullivan, J., Bagevalu, B., Glass, C., Sholl, L., Kraft, M., Martinez, F.D., *et al.* (2019) B Cell-Adaptive Immune Profile in Emphysema-Predominant Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **200**, 1434-1439. <https://doi.org/10.1164/rccm.201903-0632le>
- [11] Tian, S., Zhang, Y., Liu, C., Zhang, H., Lu, Q., Zhao, Y., *et al.* (2025) Double-Edged Mitophagy: Balancing Inflammation and Resolution in Lung Disease. *Clinical Science*, **139**, 1047-1072. <https://doi.org/10.1042/cs20256705>
- [12] Mettler, S.K. and Diaz, A.A. (2025) Mucus Plugs and COPD Exacerbations: An Emerging Therapeutic Target. *CHEST*, **168**, 561-563. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2025.05.012>
- [13] 中华医学会放射学分会心胸学组. 慢性阻塞性肺疾病胸部 CT 检查及评价中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2023, 57(6): 600-607.
- [14] Mettler, S.K., Nath, H.P., Grumley, S., *et al.* (2023) Silent Airway Mucus Plugs in COPD and Clinical Implications. *Chest*, **166**, 1010-1019.
- [15] 范继芳, 张溱乐, 黄伟青, 等. 定量 CT 肺密度在慢性阻塞性肺疾病急性加重患者气管插管中的预测价值[J]. 中国急救医学, 2024, 44(9): 796-800.
- [16] 黄锦贤, 侯东妮, 谢丛意, 等. 胸部定量 CT 在慢性阻塞性肺疾病早期诊断中的应用价值[J]. 中国临床医学, 2024, 31(2): 208-214.
- [17] 李凤芹, 张宗峰, 刘昌燕, 等. 定量 CT 检查对老年慢性阻塞性肺疾病患者肺功能的预测价值[J]. 医学影像学杂志, 2024, 34(8): 145-147.
- [18] 胡桦, 胡海华, 包芸. 多层螺旋 CT 定量评估慢性阻塞性肺疾病病情的价值[J]. 中国现代医生, 2019, 57(35): 100-102-105.
- [19] 林幽草, 施晓瑜, 黄芳, 等. CT 定量参数联合 NLR 与 COPD 合并 II 型呼吸衰竭患者肺功能的相关性及预测预后的价值[J]. 放射学实践, 2024, 39(8): 1040-1044.
- [20] 张楠, 杨晓锋, 王秀忠, 等. CT 肺血管定量指标对慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者预后评估价值[J]. 内科急危重症杂志, 2024, 30(4): 327-331+365.
- [21] 邢芳远, 郭小霞, 武瑞华, 等. 基于 CT 双气相定量评估慢性阻塞性肺疾病患者小气道病变和肺气肿程度的临床价值[J]. 临床肺科杂志, 2023, 28(12): 1836-1840.
- [22] 黄晓旗, 牛媛, 雷禹, 等. 基于 CT 双气相定量研究吸烟合并慢性阻塞性肺疾病患者的肺叶小气道病变及肺气肿损伤程度[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(5): 536-541.
- [23] Tanabe, N., Vasilescu, D.M., Kirby, M., Coxson, H.O., Verleden, S.E., Vanaudenaerde, B.M., *et al.* (2018) Analysis of Airway Pathology in COPD Using a Combination of Computed Tomography, Micro-Computed Tomography and Histology. *European Respiratory Journal*, **51**, Article 1701245. <https://doi.org/10.1183/13993003.01245-2017>
- [24] Vasilescu, D.M., Phillion, A.B., Tanabe, N., Kinose, D., Paige, D.F., Kantrowitz, J.J., *et al.* (2017) Nondestructive Cryomicro-CT Imaging Enables Structural and Molecular Analysis of Human Lung Tissue. *Journal of Applied Physiology*, **122**, 161-169. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00838.2016>
- [25] Tanabe, N., Vasilescu, D.M., McDonough, J.E., Kinose, D., Suzuki, M., Cooper, J.D., *et al.* (2017) Micro-Computed Tomography Comparison of Preterminal Bronchioles in Centrilobular and Panlobular Emphysema. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **195**, 630-638. <https://doi.org/10.1164/rccm.201602-0278oc>
- [26] McDonough, J.E., Yuan, R., Suzuki, M., Seyednejad, N., Elliott, W.M., Sanchez, P.G., *et al.* (2011) Small-Airway Obstruction and Emphysema in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *New England Journal of Medicine*, **365**, 1567-1575. <https://doi.org/10.1056/nejmoa1106955>
- [27] Hogg, J.C., McDonough, J.E. and Suzuki, M. (2013) Small Airway Obstruction in COPD: New Insights Based on Micro-CT Imaging and MRI Imaging. *Chest*, **143**, 1436-1443. <https://doi.org/10.1378/chest.12-1766>
- [28] Vogel-Claussen, J., Renne, J., Hinrichs, J., Schönfeld, C., Gutberlet, M., Schaumann, F., *et al.* (2014) Quantification of Pulmonary Inflammation after Segmental Allergen Challenge Using Turbo-Inversion Recovery-Magnitude Magnetic Resonance Imaging. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **189**, 650-657. <https://doi.org/10.1164/rccm.201310-1825oc>
- [29] Ley-Zaporozhan, J., Ley, S. and Kauczor, H. (2007) Proton MRI in COPD. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, **4**, 55-65. <https://doi.org/10.1080/15412550701198719>
- [30] Ohno, Y., Koyama, H., Yoshikawa, T., Matsumoto, K., Takahashi, M., Van Cauteren, M., *et al.* (2011) T2\* Measurements of 3-T MRI with Ultrashort TEs: Capabilities of Pulmonary Function Assessment and Clinical Stage Classification in Smokers. *American Journal of Roentgenology*, **197**, W279-W285. <https://doi.org/10.2214/ajr.10.5350>

- [31] Ma, W., Sheikh, K., Svenningsen, S., Pike, D., Guo, F., Etemad-Rezai, R., *et al.* (2015) Ultra-Short Echo-Time Pulmonary MRI: Evaluation and Reproducibility in COPD Subjects with and without Bronchiectasis. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, **41**, 1465-1474. <https://doi.org/10.1002/jmri.24680>
- [32] Halaweish, A.F., Moon, R.E., Foster, W.M., Soher, B.J., McAdams, H.P., MacFall, J.R., *et al.* (2013) Perfluoropropane Gas as a Magnetic Resonance Lung Imaging Contrast Agent in Humans. *Chest*, **144**, 1300-1310. <https://doi.org/10.1378/chest.12-2597>
- [33] 张转转, 谢小强, 刘北林. 常用炎症标记物在慢性阻塞性肺疾病急性加重期中的研究进展[J]. 中外医学研究, 2023, 21(9): 161-164.
- [34] 刘菊敏, 蒋军广, 邹亚宁, 等. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期中性粒细胞淋巴细胞比率的变化及其临床价值[J]. 医药论坛杂志, 2021, 42(2): 35-39.
- [35] Zhou, W. and Tan, J. (2021) The Expression and the Clinical Significance of Eosinophils, PCT and CRP in Patients with Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease Complicated with Pulmonary Infection. *American Journal of Translational Research*, **13**, 3451-3458.
- [36] 何良, 陈抚标, 方波. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者血清 SAA、TNF- $\alpha$ 、Hs-CRP 及 PCT 水平及其临床意义[J]. 现代实用医学, 2021, 33(5): 673-675.
- [37] 黎艳聪, 张杰斯, 郭超文, 等. 血清淀粉样蛋白 A 在慢性阻塞性肺疾病急性加重期中的应用价值[J]. 实用医学杂志, 2017, 33(14): 2349-2352.
- [38] 刘丽荣, 胡家沅. 痰和血清嗜酸性粒细胞表达水平与 COPD 患者病情及预后的关系探讨[J]. 中国医学创新, 2024, 21(12): 130-134.
- [39] 陈实, 李承红. 中性粒细胞/淋巴细胞比值与血小板/淋巴细胞比值与慢性阻塞性肺疾病的相关性研究[J]. 检验医学与临床, 2017, 14(15): 2239-2240+224.
- [40] 李颖. COPD 急性加重期患者血清 GDF-15、CRP、PCT、IL-6 表达及临床诊断效能研究[J]. 江西医药, 2022, 57(1): 27-29+85.
- [41] 杨璐, 盛亚丹, 杨凯, 等. 慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者胸部 CT 定量参数与血嗜酸性粒细胞水平的相关性[J]. 中国医学影像技术, 2024, 40(8): 1189-1193.
- [42] Raby, K.L., Michaeloudes, C., Tonkin, J., Chung, K.F. and Bhavsar, P.K. (2023) Mechanisms of Airway Epithelial Injury and Abnormal Repair in Asthma and COPD. *Frontiers in Immunology*, **14**, Article ID: 1201658. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1201658>
- [43] Panettieri, R.A. (1998) Cellular and Molecular Mechanisms Regulating Airway Smooth Muscle Proliferation and Cell Adhesion Molecule Expression. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, **158**, S133-S140. [https://doi.org/10.1164/ajrccm.158.supplement\\_2.13tac900](https://doi.org/10.1164/ajrccm.158.supplement_2.13tac900)
- [44] Savin, I.A., Zenkova, M.A. and Sen'kova, A.V. (2023) Bronchial Asthma, Airway Remodeling and Lung Fibrosis as Successive Steps of One Process. *International Journal of Molecular Sciences*, **24**, Article 16042. <https://doi.org/10.3390/ijms242216042>
- [45] Hill, D.B., Button, B., Rubinstein, M. and Boucher, R.C. (2022) Physiology and Pathophysiology of Human Airway Mucus. *Physiological Reviews*, **102**, 1757-1836. <https://doi.org/10.1152/physrev.00004.2021>