

家用臭氧中毒致急性呼吸窘迫综合征：西维来司他钠和肺保护策略 成功治疗 1 例

林锐航¹, 乔博洋^{1#}, 刘国华^{3#}, 朝鲁孟², 刘云³, 肖斌^{1*}

¹鄂尔多斯市中心医院中心实验室 内蒙古鄂尔多斯

²鄂尔多斯市中心医院呼吸与危重症医学科 内蒙古鄂尔多斯

³鄂尔多斯市中心医院重症医学科 内蒙古鄂尔多斯

【摘要】目的 探讨家庭臭氧吸入致急性呼吸窘迫综合征（acute respiratory distress syndrome, ARDS）的临床特征及救治要点，评估其治疗策略的有效性。**方法** 回顾性总结 1 例因等离子燃气灶故障吸入臭氧后发生重度 ARDS 患者的诊疗过程，详细分析其发病诱因、临床表现、影像学特点、鉴别诊断和治疗方法。**结果** 经鼻高流量氧疗、糖皮质激素基础上，于病程第 3 天加用中性粒细胞弹性蛋白酶抑制剂西维来司他钠。治疗后炎症指标迅速下降，氧合及影像学显著改善，患者康复出院，干预手段及时、有效且符合当前临床指南推荐标准。**结论** 家庭臭氧吸入可致严重 ARDS，易被忽视。早期识别、综合支持并靶向抑制中性粒细胞介导的损伤是救治关键。本例为类似中毒事件提供了诊疗借鉴。

【关键词】 化学性肺炎；臭氧；西维来司他钠；ARDS；中毒

【基金项目】 内蒙古“英才兴蒙”工程青年拔尖人才资助项目（内人才发[2024]3 号）

【收稿日期】 2026 年 6 月 10 日

【出刊日期】 2026 年 7 月 13 日

【DOI】 10.12208/j.ijcr.20260325

Household ozone inhalation inducing acute respiratory distress syndrome: A case report

Ruihang Lin¹, Boyang Qiao^{1#}, Guohua Liu^{3#}, Lumeng Chao², Yun Liu³, Bin Xiao^{1*}

¹Central Laboratory of Ordos Central Hospital, Ordos, Inner Mongolia

²Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Ordos Central Hospital, Ordos, Inner Mongolia

³Department of Critical Care Medicine, Ordos Central Hospital, Ordos, Inner Mongolia

【Abstract】Objective To investigate the clinical characteristics and key treatment strategies for acute respiratory distress syndrome (ARDS) induced by household ozone inhalation, and to evaluate the effectiveness of the therapeutic approach. **Methods** A retrospective analysis was conducted on the diagnosis and treatment process of a patient with severe ARDS caused by ozone inhalation due to a malfunctioning plasma gas stove. The study detailed the triggers, clinical manifestations, imaging characteristics, differential diagnosis, and treatment methods. **Results** Based on high-flow nasal cannula oxygen therapy and corticosteroids, the neutrophil elastase inhibitor sivelestat sodium was added on day 3 of the clinical course. Following treatment, inflammatory markers decreased rapidly, and both oxygenation and imaging findings improved significantly. The patient recovered and was discharged. The interventions were timely and effective, aligning with current clinical guideline recommendations. **Conclusion** Household ozone inhalation can lead to severe ARDS, which is often overlooked. Early detection, comprehensive supportive care, and targeted inhibition of neutrophil-mediated injury are critical for successful treatment. This case provides a reference for the diagnosis and management of similar poisoning incidents.

【Keywords】 Chemical pneumonitis; Ozone; Sivelestat sodium poisoning; Acute respiratory distress syndrome; Poisoning

[#]共同第一作者：林锐航，乔博洋，女，硕士，临床药师，主要研究方向临床药学；刘国华，男，硕士，主任医师，主要研究方向危重症医学；

^{*}通讯作者：肖斌，男，博士，主任中药师，硕士生导师，主要研究方向生药学。

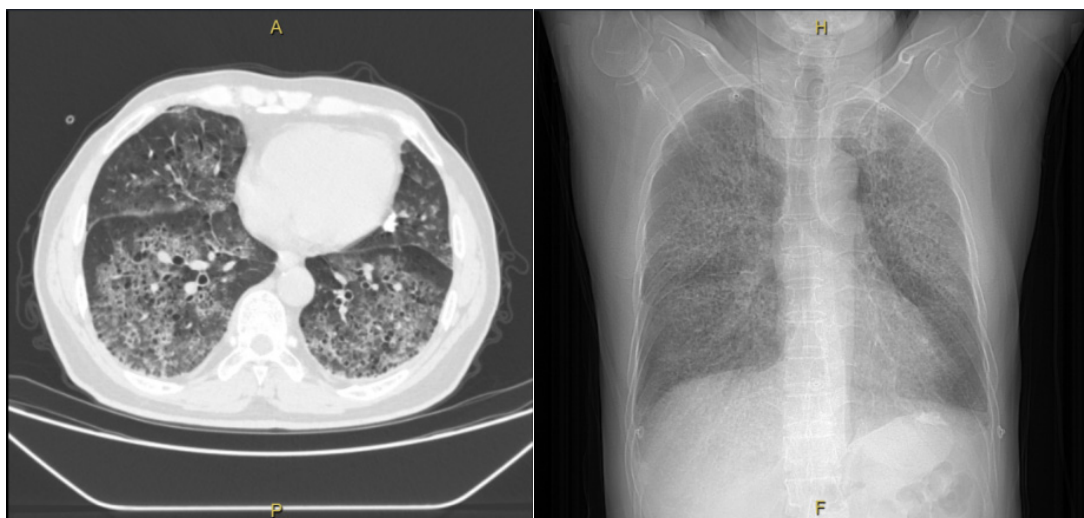
前言

臭氧是一种具有强氧化活性的气态污染物, 主要由氮氧化物和挥发性有机物在光照条件下发生光化学反应生成, 部分新型燃气灶在使用过程中可能产生臭氧^[1-3]。吸入高浓度臭氧可导致严重的呼吸系统损伤, 包括化学性肺炎及急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS)。然而, 家庭环境中由燃气灶故障导致的臭氧中毒事件极为罕见, 临床表现隐匿, 易被误诊或漏诊。西维来司他钠是一种中性粒细胞弹性蛋白酶抑制剂, 能够靶向干预 ARDS 的关键炎症通路, 减轻肺组织损伤^[4-6]。本文报道 1 例因家用等离子燃气灶故障导致意外吸入高浓度臭氧而发展为 ARDS 的病例, 患者经西维来司他钠等综合治疗后获得良好转归。该病例来源于家庭环境, 中毒原因特殊且临床少见, 其诊疗过程具有一定特色, 可为类似罕见中毒事件的识别与处理提供参考。本研究经鄂尔多斯市中心医院伦理委员会审核批准 (批准文号: 2024-146)

1 临床资料

1.1 患者一般情况

患者, 男, 60 岁, 蒙古族牧民, 主因“咳嗽、气短 12h”于 2024 年 12 月 1 日入院。患者于 2024 年 11 月 30 日于家中使用新购买的等离子燃气灶时因操作不当导致气体泄漏, 约 4-5 分钟后患者出现呼吸困难、剧烈咳嗽, 无明显头晕头痛, 无恶心呕吐等伴随症状, 遂就诊于当地旗医院, 结合燃气灶使用说明, 考虑臭氧中毒可能性大, 患者呼吸困难持续不可缓解, 于 2024 年 12 月 1 日 18:30 转入我院继续诊疗, 入院完善肺部 CT, 提示双肺高密度影、急性肺水肿伴急性肺损伤, 慢支改变, 肺气肿、双侧胸膜肥厚、心包少量积液 (图 1)。入院后急诊急查血常规、炎症指标、肝肾功能等检验后以“急性呼吸窘迫综合征, 化学性肺炎可能”收入重症医学科。患者既往无高血压、糖尿病、心脏病史, 否认食物及药物过敏史, 曾于 2023 年, 在北京专科医院行直肠肿瘤根治手术, 无外伤史、输血史, 无烟酒嗜好。



A 横断面可见双肺可见高密度影

B 冠状面可见双肺弥漫性高密度影

图 1 2024.12.1 入院胸部 CT 图像

1.2 体格检查

体温: 37.1℃, 脉搏: 117 次/分, 呼吸: 22 次/分, 血压 156/94mmHg (1 mm Hg=0.133 kPa), 血氧饱和度: 95%。患者神志清楚, 精神一般, 高流量吸氧状态, 皮肤粘膜色泽正常, 无水肿、黄染, 各部位淋巴结无肿大, 颈软, 无抵抗, 颈静脉无怒张, 唇色红润无紫绀, 双侧胸廓正常, 双侧语音震颤对称, 叩诊清音, 双肺呼吸音粗, 可闻及湿性啰音, 心律齐, 未闻及心脏杂音; 腹部外形正常, 腹软, 无移动性浊音, 肠鸣音可闻及, 双下肢无水肿, 生理反射存在, 病理反射未引出。

1.3 辅助检查

血常规: 白细胞计数: $17.74 \times 10^9/L$, 中性粒细胞计数: $15.5 \times 10^9/L$, 血红蛋白: 177g/L; C 反应蛋白: 22.23mg/L; 血液生化: 白蛋白: 39.8g/L; 丙氨酸氨基转移酶: 46U/L, 天冬氨酸氨基转移酶: 20U/L, 肌酐: $53 \mu\text{mol/L}$, 甘油三酯: 1.96mmol/L, 低密度脂蛋白胆固醇: 3.42mmol/L, 肌酸激酶: 60U/L, 超敏肌钙蛋白 T: 0.01 $\mu\text{g/L}$, N 端-B 型钠尿肽前体: 14.88pg/mL, 降钙素原: 0.069ng/mL, 白细胞介素 6: 29.9pg/mL, 凝血: 凝血酶原时间: 12.8S, 纤维蛋白原: 2.85g/L, D-二聚体:

0.29 μ g/mL FEU; 痰培养提示无菌生长。结核、真菌筛查均无异常, 心电图、心脏超声结果无异常。

2 治疗与转归

2.1 初始治疗

患者入院时血氧水平符合中度 ARDS 诊断标准(基于柏林定义的全球新定义)^[7], 所以初始治疗目标为: ①保证氧合; ②控制过度炎症反应; ③预防继发感染。所以予经鼻高流量湿化氧疗(流速 40L/min, 吸入氧浓度 50%) 在避免气管插管相关并发症, 同时提供稳定氧合支持; 甲泼尼龙 80mg, 静脉滴注, 每日 2 次, 因氧吸入后肺泡上皮损伤释放大炎症性介质, 糖皮质激素可广谱抑制炎症反应, 减轻肺水肿^[8,9]; 结合患者其他症状给予雾化吸入布地奈德、特布他林缓解气道痉挛, 改善通气。因化学性肺炎基础上易继发细菌感染, 且患者入院时白细胞及中性粒细胞升高, 所以给与头孢哌酮钠舒巴坦静脉输液经验性抗感染治疗。

2.2 调整治疗

经过 2 天综合治疗, 患者氧合改善不明显, 此时患者炎症指标仍高(白细胞 17.74 $\times 10^9$ /L, IL-6 29.9 pg/mL), 影像学示双肺渗出无吸收, 提示中性粒细胞

介导的肺损伤持续存在, 这也提示了单纯广谱抗炎未能完全阻断肺损伤进展, 提示了我们患者炎症指标增高原因并非细菌感染。臭氧中毒的核心机制是中性粒细胞在肺内聚集并释放弹性蛋白酶, 破坏肺泡结构。西维来司他钠可选择性抑制中性粒细胞弹性蛋白酶, 阻断肺泡结构破坏的关键环节, 且动物实验和临床研究均提示, 中性粒细胞弹性蛋白酶抑制剂早期应用(病程 72 小时内) 效果最佳^[10]。故在综合评估后于 2024 年 12 月 3 日(中毒后约 72 小时内) 起加用西维来司他钠(0.4 g 溶于 0.9%氯化钠注射液 100 mL, 静脉输注, 1 次/日), 疗程 6 天。该药半衰期约 6 小时, 主要经肾脏清除, 患者肾功能正常, 无出血风险, 可安全使用^[11]。

2.3 治疗反应

治疗后患者症状迅速缓解。2024 年 12 月 5 日炎症指标下降: 白细胞计数 13.07 $\times 10^9$ /L, C 反应蛋白 0.59 mg/L 提示炎症反应得到有效控制。2024 年 12 月 10 日复查胸部 CT(图 2) 示双肺渗出影显著吸收。激素逐步减量。患者于 2024 年 12 月 14 日病情平稳出院, 1 个月后随访无不适。

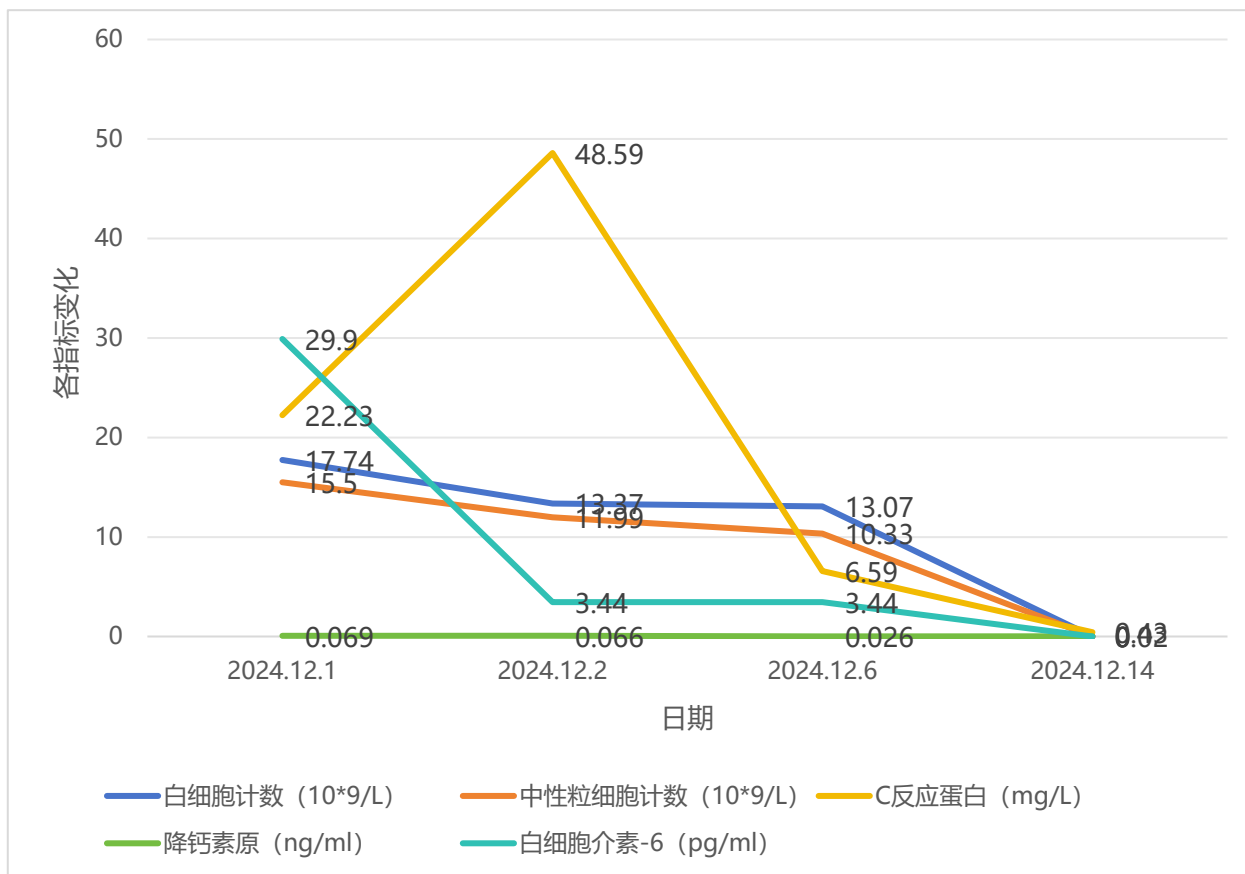
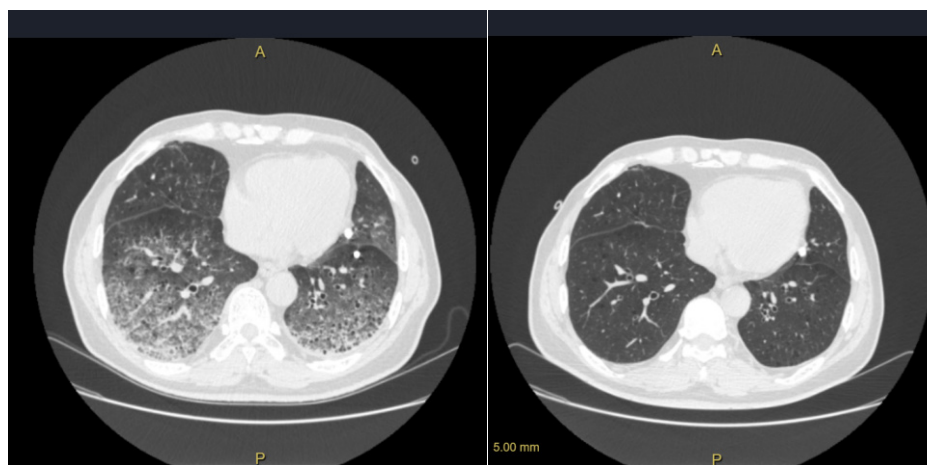


图 2 患者入院期间炎症指标变化情况趋势图



A 胸部 CT: 12 月 3 日用药后复查去肺部 CT 提示: 双肺病变较前吸收 (左)
B 胸部 CT: 2024 年 12 月 10 日停用西维来司他钠转入呼吸与危重症医学科继续治疗 (右)
复查肺部 CT 提示: 双肺病情较前明显好转
图 3 治疗过程中肺部 CT 图像

3 讨论

3.1 臭氧中毒的病理生理机制

臭氧 (O_3) 是一种强氧化剂, 主要通过呼吸道吸入造成肺损伤^[12]。其毒性机制复杂, 核心环节之一是激活肺部中性粒细胞。吸入的臭氧可直接损伤气道上皮细胞和肺泡上皮细胞, 释放多种炎性介质 (如 IL-8、TNF- α), 募集并活化中性粒细胞在肺内聚集^[13-15]。活化的中性粒细胞释放弹性蛋白酶、活性氧自由基等, 降解肺泡壁的弹性蛋白和胶原蛋白, 破坏肺组织结构, 增加血管通透性, 导致肺水肿和透明膜形成^[16]。此外, 中性粒细胞弹性蛋白酶还可促进炎症因子的级联放大, 加剧全身炎症反应。这一机制在化学性肺炎向 ARDS 进展的过程中起关键作用^[17]。本例患者入院时外周血中性粒细胞计数高达 $15.5 \times 10^9/L$, IL-6 水平升高 (29.9 pg/mL), 影像学呈现双肺弥漫性渗出, 符合中性粒细胞介导的肺损伤特征。

但需注意, 化学性肺炎基础上易继发细菌感染, 且患者入院时白细胞及中性粒细胞升高, 所以给予抗生素预防感染。然而, 臭氧中毒本身通过应激反应即可引起白细胞和中性粒细胞升高, 不代表存在细菌感染。同时本病例痰培养提示“无菌生长”, 降钙素原仅 0.069 ng/mL (通常 $<0.5 \text{ ng/mL}$ 提示细菌感染可能性小)。在此情况下使用广谱抗生素需注意避免不必要的抗生素暴露。

本例为单病例报告, 且患者同时接受了多种治疗, 西维来司他钠的确切疗效及贡献度仍需更多研究证实。然而, 本例的成功经验提示, 对于家庭臭氧吸入等罕见原因导致的 ARDS, 在综合支持治疗基础上, 早期联合

应用如西维来司他钠等靶向药物, 是一种合理的救治策略。

3.2 诊断要点

家庭环境中的臭氧中毒致 ARDS 极为罕见, 容易被漏诊或误诊, 主要原因有三: ①病因隐匿: 臭氧无色 (高浓度时淡蓝色)、有刺激性气味, 但短时间内吸入后气味消散, 患者和家属往往不会主动关联到家电故障; ②临床表现非特异性: 呼吸困难、咳嗽等症状与感染性肺炎、心源性肺水肿等常见病难以区分; ③影像学缺乏特征性: 双肺弥漫性渗出与多种病因所致 ARDS 表现重叠。

本例患者入院时, 家属未主动提及燃气灶使用情况, 初诊曾考虑感染性肺炎可能。但通过详细追问病史, 发现症状发生于使用新购等离子燃气灶后约 4-5 分钟, 结合燃气灶使用说明中关于臭氧产生的提示, 最终锁定病因。这提示临床医生对突发性、与环境设备使用高度相关的急性呼吸衰竭, 需保持警惕并深入追问暴露史。

3.3 西维来司他钠的应用时机和价值

糖皮质激素虽常用于控制化学性肺炎的炎症反应^[18,19], 但其不良反应 (如代谢紊乱、感染风险增加等) 不容忽视, 且在外源性 ARDS 治疗中的常规应用仍存争议^[20-22]。因此, 寻找更具靶向性的治疗药物具有重要意义。西维来司他钠是在中国、日本等国家首个获批用于急性肺损伤的高选择性中性粒细胞弹性蛋白酶抑制剂, 可精准阻断中性粒细胞介导的肺泡结构破坏^[4]。目前该药主要用于改善全身炎症反应综合征相关的 ARDS 或急性肺损伤^[16,17,23]。本例患者入院

后虽经高流量氧疗、糖皮质激素抗炎等综合治疗,但炎症指标仍高、影像学渗出无吸收,提示中性粒细胞介导的损伤持续存在。基于这一病理生理学依据,于病程第3天加用西维来司他钠(0.4 g/d,静脉输注,疗程6天)。治疗后患者炎症指标迅速下降(白细胞计数由 $17.74 \times 10^9/L$ 降至 $13.07 \times 10^9/L$,CRP由22.23 mg/L降至0.59 mg/L),氧合改善,影像学渗出显著吸收。本病例的治疗经验提示:对于化学性肺炎所致ARDS,在常规支持治疗基础上,早期(病程72小时内)联合西维来司他钠靶向干预,可能有助于阻断炎症级联反应、改善预后。这一时机选择与文献报道的“早期应用效果更佳”相一致^[24,25]。

3.4 临床启示:遇到不明原因ARDS,应询问哪些病史?

本病例为不明原因ARDS的病因排查提供了具体借鉴。当临床遇到以下特征的急性呼吸衰竭患者时,应重点排查非感染性吸入因素:起病急骤,与特定时间点(如使用家电、接触化学品后)高度相关;既往无心脏病史,无心源性肺水肿的临床及超声证据;感染相关指标(如降钙素原、痰培养)不支持典型感染;影像学呈双肺弥漫性渗出,但无局灶性实变或结节等感染特征。具体询问病史时应包括:①近期是否使用新型家电(如等离子燃气灶、臭氧消毒机、空气净化器等可能产生臭氧的设备);②设备是否存在故障、异响或刺激性气味;③同一环境内是否有其他人出现类似症状;④工作或生活环境中是否接触化学品、烟雾、气体等;⑤近期有无误吸、溺水等可能。

4 结论

提高对家庭臭氧吸入危害的认识至关重要。对于由此导致的ARDS,在综合支持治疗基础上,早期应用西维来司他钠靶向抑制中性粒细胞弹性蛋白酶,是一种合理的治疗选择,值得临床进一步观察与应用。

5 致谢

感谢肖博士与刘主任对作者的帮助,感谢其他作者对本文提供的数据支持以及呼吸与危重症医学科在患者随访中的贡献。

参考文献

- [1] Bocci V, Borrelli E, Travagli V, et al. The ozone paradox: ozone is a strong oxidant as well as a medical drug. *Med Res Rev*. 2009 Jul;29(4):646-682.
- [2] Nogueira Leite N, Garcia Sperandio V, da Piedade Edmundo Siteo E, et al. Ozone as a promising method for controlling *Pseudomonas* spp. biofilm in the food industry: a systematic review. *Biofouling*. 2024 Nov;40(10):660-678.
- [3] Reidy E, Bottorff BP, Rosales CMF, et al. Measurements of Hydroxyl Radical Concentrations during Indoor Cooking Events: Evidence of an Unmeasured Photolytic Source of Radicals. *Environ Sci Technol*. 2023 Jan 17;57(2):896-908.
- [4] Qian J, Liu KJ, Zhong CH, et al. Sivelestat sodium alleviated sepsis-induced acute lung injury by inhibiting TGF- β /Smad signaling pathways through upregulating microRNA-744-5p. *J Thorac Dis*. 2024 Oct 31;16(10):6616-6633.
- [5] Zhang X, Li Z, Lei X, et al. Effect of sivelestat sodium on the incidence of ventilator-associated pneumonia in patients with sepsis and ARDS. *Front Med (Lausanne)*. 2025 Aug 6;10:1618914.
- [6] Wu T, Wang T, Jiang J, et al. Effect of Neutrophil Elastase Inhibitor (Sivelestat Sodium) on Oxygenation in Patients with Sepsis-Induced Acute Respiratory Distress Syndrome. *J Inflamm Res*. 2025 Mar 27;18:4449-4458.
- [7] Matthay MA, Arabi Y, Arroliga AC, et al. A New Global Definition of Acute Respiratory Distress Syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2024 Jan 1;209(1):37-47.
- [8] Bergmann F, Pracher L, Sawodny R, et al. Efficacy and Safety of Corticosteroid Therapy for Community-Acquired Pneumonia: A Meta-Analysis and Meta-Regression of Randomized, Controlled Trials. *Clin Infect Dis*. 2023 Dec 15;77(12):1704-1713.
- [9] Haan BJ, Blackmon SN, Cobb AM, et al. Corticosteroids in critically ill patients: A narrative review. *Pharmacotherapy*. 2024 Jul;44(7):581-602.
- [10] Ocampo-Gallego JS, Pedroza-Escobar D, Caicedo-Ortega AR, et al. Human neutrophil elastase inhibitors: Classification, biological-synthetic sources and their relevance in related diseases. *Fundam Clin Pharmacol*. 2024 Feb;38(1):13-32.
- [11] Zeng W, Song Y, Wang R, et al. Neutrophil elastase: From mechanisms to therapeutic potential. *J Pharm Anal*. 2023 Apr;13(4):355-366.
- [12] Maio S, Fasola S, Marcon A, et al. Relationship of long-term air pollution exposure with chronic obstructive pulmonary disease: an Italian multicentre observational study. *Occup Environ Med*. 2025 Mar 4;82(1):21-27.

- [13] Serra MEG, Baeza-Noci J, Mendes Abdala CV, et al. The role of ozone treatment as integrative medicine. An evidence and gap map. *Front Public Health*. 2023 Jan 16;10:1112296.
- [14] 冯婷婷, 王彬茹, 柯维, 等. 急性臭氧中毒致意识障碍 1 例并文献复习[J]. *重庆医学*, 2021, 50(01):172-174.
- [15] Cheminant JR, Deering-Rice CE, Massa CB, et al. Parenchymal and inflammatory responses to ozone exposure in the aging healthy and surfactant protein C mutant lung. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*. 2025 Mar 1;328(3):L334-L349.
- [16] Mehraban F, Seyedarabi A. Molecular effects of ozone on amino acids and proteins, especially human hemoglobin and albumin, and the need to personalize ozone concentration in major ozone autohemotherapy. *Crit Rev Clin Lab Sci*. 2023 Aug;60(5):382-397.
- [17] Bahceci Erdem S, Nacaroglu HT, Isgüder R, Unsal Karkiner CS, Alper H, Can D. Pulmonary complications of chemical pneumonia: a case report. *Arch Argent Pediatr*. 2016 Aug 1;114(4):e245-8. English, Spanish.
- [18] Bergmann F, Pracher L, Sawodny R, et al. Efficacy and Safety of Corticosteroid Therapy for Community-Acquired Pneumonia: A Meta-Analysis and Meta-Regression of Randomized, Controlled Trials. *Clin Infect Dis*. 2023 Dec 15;77(12):1704-1713.
- [19] Haan BJ, Blackmon SN, Cobb AM, et al. Corticosteroids in critically ill patients: A narrative review. *Pharmacotherapy*. 2024 Jul;44(7):581-602.
- [20] Auger JP, Zimmermann M, Faas M, et al. Metabolic rewiring promotes anti-inflammatory effects of glucocorticoids. *Nature*. 2024 May;629(8010):184-192.
- [21] Oray M, Abu Samra K, Ebrahimiadib N, et al. Long-term side effects of glucocorticoids. *Expert Opin Drug Saf*. 2016;15(4):457-465.
- [22] 孙同文, 张西京, 黎毅敏, 等. 中国成人急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 诊断与非机械通气治疗指南 (2023) [J]. *中国研究型医院*, 2023, 10(05):9-24.
- [23] Zhang H, Zeng J, Li J, et al. Sivelestat sodium attenuates acute lung injury by inhibiting JNK/NF- κ B and activating Nrf2/HO-1 signaling pathways. *Biomol Biomed*. 2023 May 1;23(3):457-470.
- [24] 静亮, 彭希, 祝伟. 西维来司他钠治疗硝酸和氢氟酸吸入致急性呼吸窘迫综合征 1 例并文献复习[J]. *华中科技大学学报(医学版)*, 2022, 51(04):553-555.
- [25] Jing L, Peng X, Li D, et al. Treatment with sivelestat sodium of acute respiratory distress syndrome induced by chemical pneumonitis: A report of three cases. *Exp Ther Med*. 2023 Aug 22;26(4):476.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心 (OAJRC) 所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS