

刺激性气体中毒诊治专家共识

中国医师协会急诊医师分会 中国急诊专科医联体 中国医师协会急救复苏和灾难医学专业委员会 北京急诊医学学会

通信作者：卢中秋，温州医科大学附属第一医院，Email: lzq640815@163.com；

樊毫军，天津大学灾难医学研究院，Fanhaojun999@126.com；赵晓东，中国人民解放军总医院第四医学中心，zxd63715@126.com；于学忠，北京协和医院，Email:

yxz@medmail.com.cn

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2020.12.005

刺激性气体 (irritative gases) 是指对眼、皮肤、呼吸道黏膜等具有刺激作用，引起局部直接或间接损伤、急性炎症及不同程度肺损伤为主要病理特点的一类气态物质。除了常态下的气体，还包括能通过蒸发、升华或挥发形成气态的液体或固体。刺激性气体中毒 (irritative gases poisoning) 是人体接触到刺激性气体所产生的一系列病理生理改变及中毒表现，严重者出现呼吸衰竭，多脏器功能损害，甚至死亡。

刺激性气体中毒有完整记录的可最早追溯到 1915 年第一次世界大战，氯气被用作化学武器致 5000 多名士兵中毒死亡^[1]。随后氯气、硫化氢等也多次出现在战场和恐怖袭击事件中，造成巨大人员伤亡。当前，世界范围内刺激性气体中毒事件仍时有发生^[2]，主要见于工业事故、设备故障、违反操作等原因导致^[3]。此外，不通风的阴沟、下水道、地窖、污水池、人工沼气池等环境也是引发中毒的常见场所。在我国，1989 年至 2003 年共发生刺激性气体质量大急性职业中毒事故 92 起，年均 6.1 起^[3]。2006 年至 2016 年我国急性职业中毒事件中，刺激性气体中毒占 16.91%，病死率达 6.43%^[4]。每年的 7、8 月份为发病高峰。其中，氯气、无机酸、氨气、光气等中毒最为多见^[3]。

刺激性气体种类多，致病机制复杂，病情演变与气体毒性、理化性质、暴露浓度、持续时间相关，且诊治过程可能造成医护人员的二次中毒，目前其诊治过程尚无统一规范。为此，中国医师协会急诊医师分会、中国急诊专科医联体、中国医师协会急救复苏和灾难医学专业委员会、北京急诊医学学会组织的众多专家在阅读大量相关文献的基础上，依据他们的学术和临床经验起草，并提交共识委员会学术指导专家讨论通过，就刺激性气体中毒的急诊救治规范达成共识，旨在帮助临床医师对这类急危症患者做出审慎与适时的评估与治疗。

1 刺激性气体分类

刺激性气体可根据不同化学结构及吸入后主要作用部位进行分类。按化学结构分，主要包括酸类 (硫酸、硝酸、盐酸等)、成酸化合物 (氟化氢、溴化氢、硫化氢等)、卤族及含卤化合物 (氟、氯、溴、光气等)、氨/胺类 (氨、乙胺、乙二醇等) 和军用气体 (氮芥气) 等。由于刺激性气体水溶性及颗粒大小不同，其吸入后损伤部位有所不同^[5]，因此临床常以主要作用部位进行分类 (见表 1)。水溶性高的刺激性气体如氨气、二氧化硫等或较大的颗粒物 ($> 10 \mu\text{m}$) 主要损伤上呼吸道，发病迅速。中等溶解度如氯气、溴等或中等大小的颗粒物 ($5 \sim 10 \mu\text{m}$) 主要影响喉部、段支气管。而水溶性小的光气、氮氧化物或小颗粒物 ($< 5 \mu\text{m}$) 等主要对细支气管、肺泡等造成损伤，引起肺水肿，常为迟发性^[6]。需要强调，气体损伤部位可因气体浓度及暴露持续时间不同而有所变化，比如水溶性高的刺激性气体在高浓度下亦可对肺实质造成损伤。

推荐意见 1: 刺激性气体种类繁多，了解其毒性、理化特点及主要作用部位，有助于判断中毒后损伤靶器官和病情特点。

表 1 常见刺激性气体主要作用部位

常见刺激性气体	主要作用部位
氨气、二氧化硫、氯气、氟化氢	上气道
硫酸、硝酸、氯化氢、氟化氢、磷化氢、鯀鱼、腐败气体、光气、双光气、金属烟热、氮化物、氨、氯气、硫酸二甲酯、汞	支气管、肺
硫化氢、二氯甲烷、丁烷	呼吸中枢

2 中毒机制与病理生理改变

刺激性气体中毒机制复杂，主要包括：(1) 直接作

用：气体溶解产生的酸、碱破坏细胞膜和蛋白质，凝固蛋白、皂化脂肪，直接造成细胞死亡和组织结构破坏^[7]。(2) 炎症反应与免疫改变：诱导炎症因子 TNF- α 、IL-1 β 、IL-6 过表达^[8]，中性粒细胞、单核细胞和淋巴细胞局部浸润，CD4⁺/CD8⁺ 比值降低^[9]，Th1/Th2 失衡^[10]，瞬时受体电位 (TRP) 特别是 TRPA1、TRPV1 和 TRPAV4 表达促进炎症因子释放和免疫反应，加剧肺损伤^[11]。(3) 氧化应激：诱导过氧化损伤^[12]，抗氧化物如超氧化物歧化酶、谷胱甘肽过氧化物酶等显著降低^[13]。(4) 凋亡：caspase-3、caspase-9 等表达上调，诱导细胞凋亡^[14]。(5) 其他：硫化氢、汞能抑制线粒体呼吸链功能，造成细胞内窒息^[15-16]。氮氧化物可引起高铁血红蛋白血症，影响红细胞携氧功能，加重机体缺氧^[17]。硫芥可烷基化 DNA、RNA 和蛋白质，导致细胞死亡^[16]。多种机制作用，损伤肺泡上皮细胞和毛细血管，增加肺泡壁及血管通透性，减少肺表面活性物质，造成肺与肺间质水肿、透明膜形成^[18-19]。同时，通气不足、弥散障碍、肺内分流增加和通气/血流比失衡，肺泡塌陷、细支气管闭塞、肺不张，最终导致呼吸窘迫^[20]。不仅如此，高浓度硫化氢、二氧化硫、二氯甲烷等可直接刺激颈动脉窦和主动脉化学感受器，或直接作用于呼吸中枢，导致呼吸衰竭，甚至死亡^[21-22]。

3 临床表现

刺激性气体中毒临床表现复杂，其严重程度主要与暴露气体种类、浓度和暴露持续时间密切相关。常见刺激性气体中毒临床表现可概括为局部刺激、呼吸损害、全身毒性和远期影响等，也包括一些特殊表现（见表 2）。高浓度刺激性气体直接刺激作用或由其诱发的过敏反应可导致喉头水肿和上呼吸道梗阻，常危及生命。而急性呼吸窘迫综合征（ARDS）或肺部并发症是刺激性气体中毒患者主要死亡原因。混合性气体中毒要依据成分综合判断。

3.1 局部刺激

局部刺激主要为眼、皮肤和呼吸道接触刺激性气体后出现的流泪、畏光、结膜充血、皮肤损伤、流涕、喷嚏、咽痛、呛咳等刺激症状^[1]。局部刺激症状在脱离暴露环境后大多可逐渐缓解。但高浓度、水溶性大的刺激性气体可直接腐蚀角膜、气道黏膜，或引起过敏反应，严重时发生黏膜坏死脱落、喉头水肿，导致上呼吸道梗阻或气道痉挛，迅速危及生命^[23]。水溶性低的刺激性气体往往局部刺激症状较轻或不明显。局部刺激作用还需注意同时存在热力、高压等理化损伤可能。

3.2 呼吸损害

呼吸道局部刺激症状后，自觉症状可减轻或消失，但

部分患者中毒后的潜在病理变化仍在进展，即为潜伏期。暴露于水溶性大、浓度高的刺激性气体，潜伏期短，一般为 0.5 ~ 6 h；而水溶性小的刺激性气体潜伏期较长，可达 36 ~ 72 h。潜伏期之后，可出现剧烈咳嗽、咳稀薄泡沫样痰，进行性呼吸困难伴两肺干湿性啰音，进入肺水肿期，严重者发展为 ARDS。经及时治疗，如无严重并发症，肺水肿可在 2 ~ 3 d 内得到控制，影像学约在 1 ~ 2 周内恢复正常，多无后遗症^[24]。部分患者可并发阻塞性细支气管炎、化学性肺炎、纵隔气肿、自发性气胸等，与患者预后不良有关^[25-27]。

3.3 全身毒性

除了局部刺激和呼吸损害等表现外，部分刺激性气体中毒可造成全身毒性表现，如中枢抑制、心血管损害、低血压等。高浓度硫化氢中毒可直接抑制心肌细胞钠、钙离子通道和呼吸中枢，导致心搏骤停、中枢性呼吸衰竭而“闪电样死亡”^[28]。氢氟酸中毒导致的低钙血症、低镁血症，严重者可致死^[29]。吸入氯气也可引起心肌抑制和心力衰竭^[30]，甚至强烈的迷走反射引起心脏骤停^[31]。对心脏有毒性还包括丁烷、液化石油气、有机氟等^[32-34]。除了心脏毒性，影响中枢的刺激性气体包括液化石油气、异丙醇、1, 2-二氯乙烷等，可造成中毒性脑病，中毒后表现为头晕、头痛、反应迟钝^[21]、癫痫发作、运动和协调运动能力障碍^[35]、共济失调伴肌张力障碍等^[36]。吸入锌、镉、钛、镍、硼、铬、铜、镁等金属烟雾可致发热、咳嗽、呕吐、气喘、胸闷、肌痛，这种发热称为金属烟热（the metal fume fever, MFF）^[37]。吸入光气、氮氧化物或二氧化氯可导致溶血、急性肾小管坏死^[38-39]。

3.4 远期影响

高浓度刺激性气体中毒后少数患者可遗留不同程度的气道狭窄、肺纤维化等^[40]。如硫芥导致声门及声门下、左主支气管狭窄等^[41]。同时，随着气道免疫功能受损、机体防御能力降低，易发生反应性气道功能不全综合征^[42]，反复的哮喘与肺部感染^[43]，最终导致肺通气换气功能障碍^[44]，多见于臭氧、二氧化硫、氯气、氨气、氢氟酸、聚氯乙烯裂解物等中毒^[45-46]。

推荐意见 2：刺激性气体中毒临床表现复杂，主要以不同程度的呼吸损害为突出特征，应警惕上呼吸道梗阻及 ARDS 的发生，同时还需注意全身其他系统受累的表现。

4 辅助检查

4.1 实验室检查

实验室检查缺乏特异性，但可一定程度反映病情严重程度。氧合指数（PaO₂/FiO₂）不同程度下降与酸中毒；白

表 2 常见刺激性气体中毒临床表现一览表

常见刺激性气体	共性临床表现	特殊临床表现
强酸、强碱类	局部刺激：如黏膜损伤、呼吸道梗阻	气肿、气胸
硫化氢、二氯甲烷、丁烷等	呼吸损害：如肺损伤、肺水肿、ARDS	中枢性呼吸衰竭
一氧化二氮、硫化氢、氯气、液化石油气、异丙醇、1, 2-二氯乙烷、有机氟、三甲基氯化锡等	全身毒性：如心、脑等损害	中毒性脑病、心脏损伤
氢氟酸、三甲基氯化锡等	远期影响：如气道狭窄、肺纤维化、换气功能障碍	低钙、低镁、低钾
光气、氮氧化物、二氧化氯等		溶血、高铁血红蛋白血症、急性肾损伤
锌、镉、钛、镍、硼、铬、铜、镁等		金属烟热 (MFF)
臭氧、二氧化硫、氯气、氨气、氢氟酸、聚氯乙烯裂解物等		反应性气道功能不全综合征

细胞计数升高, 红细胞比容增高, 血红蛋白增高, 血液浓缩; 肌酸激酶 -MB (CK-MB) 及肌钙蛋白升高; 谷草转氨酶 (AST)、谷丙转氨酶 (ALT)、胆红素升高及肌酐、尿素氮升高^[47]; 电解质紊乱, 如氢氟酸中毒常伴低钙血症、低镁血症^[29]。三甲基氯化锡导致顽固性低钾血症^[48]。

4.2 影像学检查

胸部 X 线及 CT 检查对刺激性气体中毒患者肺水肿、ARDS 的早期诊断及指导治疗具有重要意义^[49]。胸部 CT 分辨率优于 X 片, 利于早期诊断及鉴别重症患者^[50]。肺部影像学表现呈现中毒性疾病常有的时间依赖性特征。中毒后 1 ~ 3 d: 轻症患者可表现为肺纹理增粗, 两肺斑片状致密影; 中重症患者为多发斑片状或弥漫性渗出, 边缘模糊, 见实变或支气管充气征, 病变分布常以两肺下叶显著。可出现胸腔积液、纵隔气肿。中毒后 4 ~ 10 d: 轻度患者基本吸收; 中重度者斑片状渗出影变淡, 两肺实变面积缩小。中毒 10 d 后: 两肺野透亮度基本正常; 两肺内残留少许纤维条索影; 胸腔积液、纵隔气肿基本吸收^[51-53]。中毒性脑病患者头颅 MRI 表现为双侧大脑半球白质广泛受累, 出现 T1W1 低信号, T2W1 高信号, T2-Flair 高信号改变^[21]。

4.3 支气管镜检查

支气管镜检查能直观的见到大气道损伤情况, 可观察到自红斑、黏膜充血到黏膜破溃、坏死脱落、黏液溢出、支气管腔闭塞等不同严重程度的病变^[54]。

4.4 其他

合并心脏损伤的中毒患者, 心电图可出现 ST-T 改变及心律失常, 超声心动图可见心脏收缩、舒张功能下降等^[55-56]。

4.5 毒物相关检测

现场可应用便携式气体测定仪或气体指示牌 (如光气指示牌) 等检测环境中有毒气体种类及含量^[57]。应用质谱法检测患者血液、尿液、肺组织中毒物或其代谢产物含量, 如硫化氢、氟离子、硫代硫酸盐、锡等^[48, 58-59], 以明确诊断及病情严重度评估。此外, 有研究发现 8-异丙基, 1- α -磷脂酰甘油氯醇和氯化脂质可作为氯气急性肺损伤的生物标志物^[60-62]。

推荐意见 3: 刺激性气体中毒患者应及早检测血气分

析、血常规、血生化等, 有呼吸道症状的患者应常规进行胸部影像评估, 首选 CT 检查。

5 诊断与鉴别诊断

有明确刺激性气体暴露史, 出现局部刺激症状、呼吸系统受累、全身毒性等临床表现, 结合血气分析、胸部影像学等改变, 可作出临床诊断。少量接触刺激性气体仅出现一过性眼、上呼吸道黏膜刺激症状, 肺部无阳性体征及异常影像学表现, 称为接触反应 (或刺激反应), 该期患者该期患者未列入我国法定职业病范畴, 但需严密观察 12 h。当气体种类不明确时, 依据发病潜伏期长短及主要损伤部位等信息, 可为预判刺激性气体水溶性、分子大小以及肺损伤的发生提供线索。现场或者患者血液、体液等样本毒物检测结果可为临床确诊提供信息。除关注局部和呼吸损害外, 还应常规监测心脏、中枢神经系统等重要器官功能。鉴别诊断主要需排除心源性肺水肿、支气管哮喘、慢性阻塞性肺疾病急性发作等, 对存在心脏及中枢神经系统损害的中毒患者还应与其他心脑血管疾病鉴别。

推荐意见 4: 根据暴露后局部刺激、呼吸损害、全身毒性等临床表现, 结合实验室、影像学检查结果, 可做出刺激性气体中毒的临床诊断。

6 诊疗流程

刺激性气体中毒种类多, 病情变化复杂, 应遵循反复评估及时治疗的原则, 具体诊治流程如下 (图 1)。

6.1 洗消与分检

有条件时, 应首先对刺激性中毒患者进行洗消; 若不具备洗消条件, 应在通风区域或隔离区接诊患者。对患者进行危险分层, 尽早识别高危患者。目前关于刺激性气体中毒分检研究较少, 几种常见的分检系统如 Simple Triage and Rapid Treatment (START or jumpSTART)、The Emergency Severity Index (ESI)、SALT、Chemical/Biological/Radiologic/Nuclear Mass Casualty Triage System (CBRN) 等对刺激性气体中毒分检效率均不高。例如 START 或 jumpSTART 系统容易低估刺激性气体中毒患者

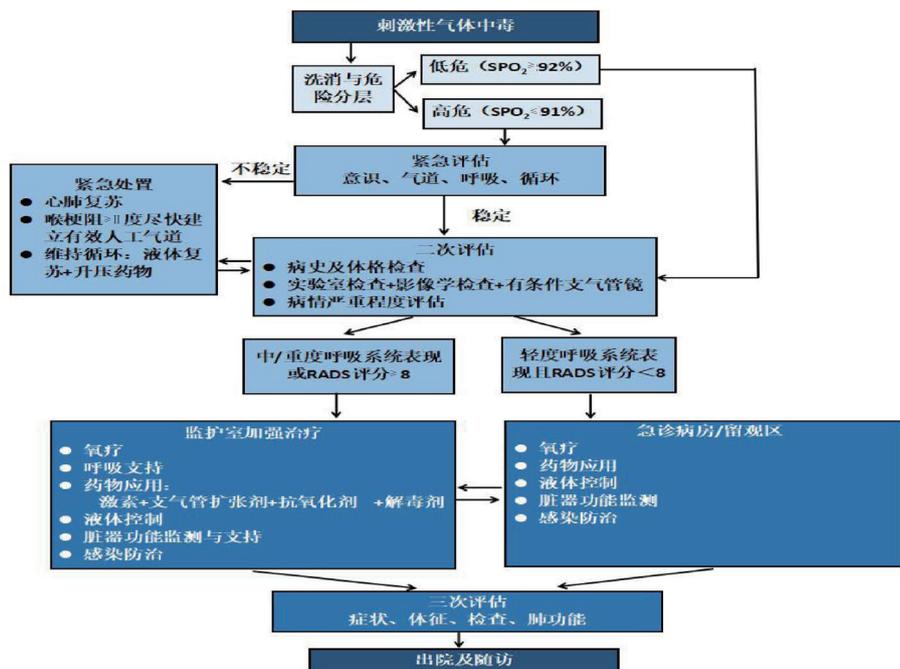


图 1 刺激性气体中毒急诊诊治流程

病情，ESI 分检系统则容易高估严重程度，而 CBRN 需要信息多难以适用于第一时间分检，SALT 更适用于灾难现场大批伤员分检^[63]。研究表明，指脉氧饱和度 (SpO₂) 对刺激性气体中毒患者病情程度分级具有重要意义，优于 START、ESI、CBRN 等系统。SpO₂ ≤ 91% 提示病情严重，为高危患者，易进展为多器官功能不全^[63]。因此，对于 SpO₂ ≤ 91% 的患者应立即进行紧急评估与处理。而 SpO₂ ≥ 92% 患者仍有病情加重风险，需进行二次评估。

6.2 紧急评估与处置

应立即对高危刺激性气体中毒患者进行意识、气道 (airway)、呼吸 (breathing)、循环 (circulation) 的快速评估。由于上气道阻塞导致窒息是刺激性气体中毒患者死亡的重要原因，因此紧急评估时应关注对声音嘶哑、喉头水肿及喉梗阻等症状体征的识别。对评估为 II 度及以上喉梗阻的患者视情况进行气管切开或环甲膜穿刺后再行气管切开，尽早建立有效人工气道^[64]。对循环不稳定的患者给予补液、血管活性药物维持血压和组织灌注。出现心搏呼吸骤停立即予心肺复苏^[65]。

推荐意见 5：可根据指脉氧饱和度对刺激性气体中毒患者进行危险分层，高危患者应立即进行紧急评估与处置，尤其注意上气道梗阻的识别及有效人工气道的快速建立。

6.3 二次评估

低危刺激性气体中毒患者，或经紧急处置后生命体征趋于稳定的患者，应快速进入二次评估，包括：详细采集病史，尽可能明确接触气体种类；进行生命体征监测，仔

细体检，重点关注球结膜充血，声音嘶哑，喉鸣音、呼吸急促、肺部干湿啰音等阳性体征；进行动脉血气分析、血常规、大生化等指标的急诊检验；对有呼吸道症状及体征的患者常规进行胸部 X 线或 CT 检查；有条件可进行支气管镜检查。同时还需完善心电图、超声心动图等，根据病情进行头颅 MRI、脑电图等检查。根据检查结果，对患者病情进行分级。我们推荐基于呼吸系统临床分级和放射科医师评分 (Radiologist's score, RADS) 评分对刺激性气体中毒患者进行严重程度评估^[54]，可以中毒严重程度 (PSS) 评分、SOFA 评分、APECHE II 评分作为病情评估的补充。呼吸系统临床分级为中、重度或 RADS 评分 ≥ 8 的患者判定为重症患者，而呼吸系统临床分级为轻度且 RADS 评分 < 8 的患者认定为轻症患者。

6.3.1 呼吸系统临床分级 呼吸系统临床分级：(1) 轻度急性气管-支气管炎，呈哮喘样发作。(2) 中度急性气管肺炎，急性吸入性肺炎，急性间质性肺水肿，I-II 度喉阻塞。(3) 重度肺泡性肺水肿，ARDS，并发严重气胸、纵隔气肿，II 度以上喉阻塞或窒息，猝死^[66]。

6.3.2 RADS 评分 1 cm 层厚的胸部 CT 图像上各 1 / 4 象限最高评分的总和 (见表 3)，高 RADS 评分 (一个层面 > 8 分) 提示肺部病变严重^[54, 67]。

6.3.3 支气管镜损伤评分 见表 4，是目前作为判断与评估烧伤合并吸入性损伤严重程度的标准技术，具有相对易用性和可允许性，并能动态评估^[54]。

推荐意见 6：推荐应用呼吸系统临床分级和 RADS 评

表 3 RADS 评分

主要影像表现	评分
正常	0
间质病变	1
磨砂玻璃样病变	2
肺实变	3

表 4 基于支气管镜的损伤评分

级别	定义	表现
0	无损伤	无碳末沉着、红斑、水肿、支气管黏液溢、气管阻塞
1	轻度损伤	小范围碳末沉着、斑片状红斑、无充血水肿、支气管黏液溢、气管阻塞
2	中度损伤	中度碳末沉着、红斑、充血水肿、支气管黏液溢、气管阻塞
3	严重损伤	严重的炎症反应，黏膜破溃，大范围碳末沉着、充血水肿、支气管黏液溢、气管阻塞
4	巨大损伤	黏膜脱落坏死，支气管腔闭塞

分对刺激性气体中毒患者进行二次病情评估，对呼吸系统临床分级为中、重度或 RADS 评分 > 8 分的应视为重症患者。

6.4 重症患者治疗

对于临床分级为中重度，RADS 评分 ≥ 8 的刺激性气体中毒患者，应尽快入监护室如急诊重症监护室 (EICU) 治疗。

6.4.1 氧疗 氧疗是刺激性气体中毒最常用的治疗手段。研究发现，氧疗可明显减轻急性硫化氢中毒引起的心、肺组织损伤^[68]。根据病情可采用鼻导管、普通面罩、文丘里面罩、储氧面罩等方式合理给氧，应避免高氧血症可能的危害^[69-70]。初始氧合目标可参考《急诊氧疗专家共识》^[71]，有 CO₂ 潴留高危因素的患者推荐氧合目标为 SpO₂ : 88%~93%，而不具 CO₂ 潴留高危因素的患者，SpO₂ 目标为 94%~98%。

高压氧提高血氧含量，使组织细胞储氧量增加，主要用于刺激性气体中毒相关缺氧性脑病的康复治疗。有少量病例报道氨气、硫化氢、氯气、沼气中毒早期应用高压氧治疗，可改善肺水肿及脑缺氧，利于脑功能恢复^[72]。但其有效性缺乏系统评价，安全性仍有争议，有学者认为高压氧可能造成气道分泌物或脱落物造成气道阻塞，可能危及生命^[73]。

6.4.2 呼吸支持及气道管理 经鼻高流量氧疗 (HFNC) 拥有的稳定氧流量、氧体积分数及 PEEP 效应，同时利于气道黏膜纤毛湿化、排痰能够改善氧合、降低二氧化碳潴留^[74-75]。对于轻中度 I 型呼吸衰竭、轻度 ARDS 患者，推荐应用 HFNC^[74]。

无创正压通气 (NPPV) 有均衡的气流，加温加湿，持续正压等特点，早期应用气道正压能够提高第一个小时通气压力 / 氧吸入分数比，明显减轻肺损伤^[76-77]。部分 II

型呼衰或轻度 ARDS 患者可采用 NPPV 进行呼吸支持^[78]。

有创机械通气 对于刺激性气体中毒伴有中重度 ARDS 患者建议尽快行有创机械通气^[79]，应采用“小潮气量通气”、“高 PEEP”和“允许性高碳酸血症”的保护性通气策略，机械通气参数设置及通气目标可参考：潮气量 (VT) 4~8 mL/kg (理想体质量)，平台压 (Pplat) ≤ 30 cmH₂O，呼吸频率 20 ~ 30 次 / min，初始 PEEP 可为 8 ~ 12 cmH₂O，调节 PEEP 和 FiO₂，维持患者基本氧合 (PaO₂ 55 ~ 88 mmHg，SPO₂ 88% ~ 95%)，PaCO₂ ≤ 65 mmHg、pH ≥ 7.2 ^[80-81]。视病情实施肺复张和俯卧位通气 (PPV)，纠正低氧血症，改善预后^[81-82]。

气道管理主要是保护气道通畅，防止气道阻塞。鼓励早期咳嗽，应用人工排痰，加强体位引流。对于吸入刺激性气体浓度高、暴露时间长、或吸入混合性刺激性气体，特别是咳嗽反射差，应尽早气管插管，以助于气道保护及痰液引流^[83]。支气管镜应用不仅能有效评估气道损伤情况，也可以清除气道内坏死黏膜及痰液，改善肺功能^[84]。

推荐意见 7：应对刺激性气体中毒患者合理氧疗，维持目标氧合。对合并 ARDS 患者应及早进行呼吸支持，有创通气时采用保护性通气策略。

6.4.3 药物应用 目前对于大多数刺激性气体中毒无特效解毒剂，常用有糖皮质激素、支气管扩张剂、抗氧化剂等。

(1) 解毒剂 部分刺激性气体中毒可应用解毒药物治疗。如硫化氢中毒应用高铁血红蛋白形成剂如二甲基氨基苯酚 (4-DMAP)、3% 亚硝酸钠、亚甲蓝解毒^[85]。笑气，即一氧化二氮吸入造成神经损伤，可用维生素 B12 500 ~ 1 000 μ g/d，4 周后口服 3 ~ 6 个月，严重者需 1 ~ 2 年^[86]。二巯丙磺钠用于汞蒸气吸入的驱汞治疗等^[87]。

推荐意见 8：对部分存有解毒药物的刺激性气体中毒患者尽早应用解毒剂治疗。

(2) 糖皮质激素 激素具有抗炎、抗过敏、减轻免疫反应、减轻细胞损伤、减少渗出等作用。刺激性气体中毒患者激素雾化治疗能改善气道高反应，改善肺顺应性，增加氧合，减轻肺损伤^[88-89]。虽然有文献指出激素的全身应用无充分依据，不能改善预后^[40,90]，还能增加感染及应激性溃疡风险。但更多的研究显示，应用激素对刺激性气体中毒患者有益^[91]。临床多项回顾性研究表明早期应用糖皮质激素能改善刺激性气体中毒患者结局^[92-93]。在治疗氮氧化物气体中毒时，延长激素时间可以防治阻塞性支气管炎和急性呼吸窘迫综合征^[94]。国内学者还有应用短程山莨菪碱联用地塞米松冲击疗法治疗氯气中毒取得良好疗效^[95]。对急性三光气中毒患者根据病情采用不同剂量糖皮质激素治疗，明显缩短重症患者病程^[96]。目前，关于糖皮质激素用量及疗程

不同文献报道不尽相同。专家组认为糖皮质激素治疗刺激性气体中毒应遵循早期、足量、短程的原则。对中重症患者，静脉应用甲强龙针 160 ~ 240 mg/d (2 ~ 3 mg/kg)，疗程 3 ~ 5 d 减停。对伴有呼吸衰竭、ARDS 患者，初始可予甲强龙 500 mg/d，视病情 1 ~ 3 d 内减半，5 ~ 10 d 内减停。

推荐意见 9：对中重度刺激性气体中毒患者应用糖皮质激素治疗，并遵循早期、足量、短程的原则。

(3) 支气管舒张剂 一般与激素雾化联用，改善气道顺应性，通常认为有益^[90]。碳酸氢钠雾化国外可见报道^[97]，但无国内应用文献，故不推荐。

(4) 抗氧化剂 抗氧化剂如 N-乙酰半胱氨酸、谷胱甘肽、维生素 C、乌司他丁、血必净等能改善肺顺应性，减轻炎症反应^[98]。增强抗氧化能力，减轻氧化应激^[12,99]。通常抗氧化剂与糖皮质激素联用，缩短糖皮质激素疗程，优于单用^[100-101]。推荐早期与激素联用，疗程与糖皮质激素相近。

(5) 抗菌药物 刺激性气体中毒常引起气道黏膜屏障破坏，分泌物增加，痰液引流不畅，气道阻塞等，容易引起感染。存在感染相关证据时，根据感染部位、轻重、病原菌合理应用抗生素。

推荐意见 10：刺激性气体中毒患者应根据临床情况及时应用抗菌药物。

6.4.4 液体控制 对于重度中毒伴有肺水肿、ARDS 患者应严格控制液体，在维持灌注的前提下，每天保持液体负平衡。维持血红蛋白或红细胞压积正常值高限，保持患者血液适当浓缩，对患者肺损伤的治疗有益^[102]。

推荐意见 11：刺激性气体中毒合并 ARDS 患者应在维持血流动力学稳定前提下，采取严格控制液体入量的治疗策略。

6.4.5 脏器功能支持治疗 血液净化 氢氟酸吸入中毒患者应用 CRRT 可明显降低血清氟浓度^[103]。高容量血液滤过不仅能清除氯气吸入后循环中的有害物质，也可以清除炎性介质，稳定内环境，合理的容量管理，改善患者预后^[104]。

体外膜肺氧合 (ECMO) ECMO 能提供有效的气体交换，降低机械通气强度，允许肺充分休息，改善患者预后。随着 ECMO 临床应用日益成熟，在刺激性气体中毒患者中也有较多应用，并成功治愈案例^[105-106]。对于最佳机械通气策略下仍存在严重低氧血症和严重失代偿的高碳酸血症，排除禁忌证，权衡利弊，可考虑应用 ECMO，早期应用改善预后^[81,107]。ARDS 所致呼吸衰竭的 ECMO 指征：采用肺保护性通气（潮气量为 6 mL/kg，PEEP \geq 10 cmH₂O）并且联合肺复张和俯卧位通气，在吸纯氧条件下，PaO₂ / FiO₂ < 100 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)，或肺泡 - 动脉氧分压差 [P_(A-a)O₂] > 600 mmHg；或通气频率 > 35 次/min

时 pH 值 < 7.2 且平台压 > 30 cmH₂O；年龄 < 65 岁；机械通气时间 < 7 d；无抗凝禁忌^[108-109]。当影像学提示双肺渗出明显吸收时，应尽早撤离 ECMO^[110]。

(3) 其他 对于有结膜充血、角膜溃疡、浑浊的患者，应第一时间请眼科会诊协助处理，避免延误诊治。刺激性气体中毒患者诊治过程中合理的镇痛镇静应用、血气电解质平衡维持、营养支持、心、脑、肾等其他脏器功能维护同样重要^[111]。

推荐意见 12：积极维护刺激性气体中毒患者的器官功能，对最佳机械通气策略下仍无法纠正低氧血症的 ARDS 患者，有条件可应用 ECMO 治疗。

6.5 轻症患者治疗

对于有明确吸入刺激性气体，无症状的潜伏期患者或呼吸系统临床分级为轻度，ARDS 评分 < 8 的患者，应收住急诊普通病房或留观室，严密观察 36 ~ 48 h。给予氧疗、气管扩张剂等，根据病情使用激素、抗菌药物等。期间，应尤其关注患者气道梗阻、迟发性肺水肿等，监测动脉血气。若病情加重，应及时转入监护室加强治疗。

推荐意见 13：轻症刺激性气体中毒患者以对症支持治疗为主，监测病情变化。

6.6 三次评估

对于肺水肿和肺炎重症患者应该在出院前进行影像学复查，并暴露后大约 4 ~ 6 周接受肺功能测量，包括一秒用力呼气量 (FEV₁) 和用力肺活量 (FVC)、FEV₁/FVC 比值和最大呼气流量 (PEF)，以排除慢性支气管炎、毛细支气管炎或闭塞性毛细支气管炎^[112]。

6.7 救治过程防护

资料表明，高浓度氯气、硫化氢等气体中毒可造成现场救援人员或初诊医护人员的二次中毒。做好现场救援人员防护是第一要务^[113]。应派遣专业救援人员，减少不必要的救援人员数量，穿戴好防护器具以确保现场救援安全有序进行。由于接诊刺激性气体中毒时，大多情况下不能及时明确气体种类，因此，有条件时应对刺激性气体中毒患者进行洗消，或置于通风区域或隔离区处置。接诊医护人员应做好个人防护，有条件应佩戴活性炭面罩，避免二次中毒。对染有高浓度刺激性气体，特别是军用气体的人员、设备、场地统一洗消或消毒，以防止危害或污染扩散。

急性刺激性气体中毒可致突发中毒群体性事件，应立即启动突发公共卫生事件应急预案，并上报卫生与行政部门，形成卫生部门与院内指挥体系，院前与院内结合，充分保障人员与物资齐全，做到抢救有序，提高患者救治率^[114-115]。

推荐意见 14：在救治刺激性气体中毒患者时，救援人

员及接诊医护人员应做好防护, 避免二次中毒。

7 出院及随访

出院: 临床症状明显改善, 体温正常 2 ~ 3 d; 重度中毒患者肺功能检查基本正常。不吸氧下氧饱和度 > 95% 或正常; 影像学及实验室检查基本正常; 一般情况好, 饮食基本正常等。

随访: 接触者随访 2 月。中毒者出院后随访 2 ~ 6 月, 根据病情可延长^[116]。

8 预防

预防原则为消除事故隐患, 早期发现和预防重度中毒, 加强现场急救。通过制定严格的卫生安全制度和操作规程, 建立事故预案和应急救援体制。加强职业安全培训, 提高中毒预防, 自救互救水平。改进设备, 加强暴露人员装备等减少中毒事件发生。

执笔人: 卢中秋 洪广亮 赵光举 陈潇荣

专家组 (按姓氏拼音排序):

曹钰 (四川大学华西医院) 柴艳芬 (天津医科大学总医院) 邓颖 (哈尔滨医科大学附属第二医院) 樊毫军 (天津大学灾难医学研究院) 洪广亮 (温州医科大学附属第一医院) 黄亮 (南昌大学第一附属医院) 兰超 (郑州大学第一附属医院) 李小刚 (中南大学湘雅医院) 李毅 (北京协和医院) 卢中秋 (温州医科大学附属第一医院) 马岳峰 (浙江大学医学院附属第二医院) 聂时南 (中国人民解放军东部战区总医院) 钱传云 (昆明医科大学第一附属医院) 孙承业 (中国疾病预防控制中心) 史继学 (山东第一医科大学第二附属医院) 宋维 (海南省人民医院) 宋亚琪 (宁波市北仑区人民医院) 田英平 (河北医科大学第二医院) 魏捷 (武汉大学人民医院) 杨立山 (宁夏医科大学总医院) 于学忠 (北京协和医院) 张泓 (安徽医科大学第一附属医院) 朱华栋 (北京协和医院) 曾红科 (广东省人民医院) 张劲松 (南京医科大学第一附属医院) 赵敏 (中国医科大学附属盛京医院) 周荣斌 (中国人民解放军总医院第七医学中心) 张文武 (深圳市宝安区人民医院) 张新超 (北京医院) 赵晓东 (中国人民解放军总医院第四医学中心) 张锡刚 (中国人民解放军总医院第五医学中心)

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突。

参 考 文 献

[1] Das R, Blanc PD. Chlorine gas exposure and the lung: a review[J].

- Toxicol Ind Health, 1993, 9(3): 439-455. DOI:10.1177/074823379300900304.
- [2] Mackie E, Svendsen E, Grant S, et al. Management of chlorine gas-related injuries from the Graniteville, South Carolina, train derailment[J]. Disaster Med Public Health Prep, 2014, 8(5): 411-416. DOI:10.1017/dmp.2014.81.
- [3] 杜燮伟, 张敏, 王焕强, 等. 1989 至 2003 年全国刺激性气体重大急性职业中毒的特征 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2006, 24(12):716-719. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2006.12.004.
- [4] 郎楠, 周静, 袁媛, 等. 2006 至 2016 年全国急性职业中毒事件分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2017, 35(11):829-831. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2017.11.006.
- [5] Tanizaki S. Assessing inhalation injury in the emergency room[J]. Open Access Emerg Med, 2015, 7: 31-37. DOI:10.2147/OAEM.S74580.
- [6] Summerhill EM, Hoyle GW, Jordt SE, et al. An official American thoracic society workshop report: chemical inhalational disasters. Biology of lung injury, development of novel therapeutics, and medical preparedness[J]. Ann Am Thorac Soc, 2017, 14(6): 1060-1072. DOI:10.1513/AnnalsATS.201704-297WS.
- [7] Squadrito GL, Postlethwait EM, Matalon S. Elucidating mechanisms of chlorine toxicity: reaction kinetics, thermodynamics, and physiological implications[J]. Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol, 2010, 299(3): L289-L300. DOI:10.1152/ajplung.00077.2010.
- [8] Zhi L, Ang AD, Zhang HL, et al. Hydrogen sulfide induces the synthesis of proinflammatory cytokines in human monocyte cell line U937 via the ERK-NF- κ B pathway[J]. J Leukoc Biol, 2007, 81(5): 1322-1332. DOI:10.1189/jlb.1006599.
- [9] 吕亚莉, 陈传军, 梁碧霞. 急性氯化氢气体中毒患者外周血淋巴细胞亚群的变化 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2012, 30(5):375-376. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2012.05.018.
- [10] 柳月珍, 郑敏, 杨丽梅, 等. IFN- γ 、IL-4、TGF- β 在全氟异丁烯吸入性肺损伤中的变化研究 [J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(4):405-408. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.04.014.
- [11] Grace MS, Baxter M, Dubuis E, et al. Transient receptor potential (TRP) channels in the airway: role in airway disease[J]. Br J Pharmacol, 2014, 171(10): 2593-2607. DOI:10.1111/bph.12538.
- [12] 葛贇, 余毅娟, 郑嘉奕, 等. 乌司他丁对硫化氢急性中毒大鼠肺组织氧化应激损伤的干预作用及机制研究 [J]. 中华急诊医学杂志, 2012, 21(2): 164-170. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2012.02.014.
- [13] Gokirmak M, Yildirim Z, Canan Hasanoglu H, et al. The role of oxidative stress in bronchoconstriction due to occupational sulfur dioxide exposure[J]. Clin Chim Acta, 2003, 331(1/2): 119-126. DOI:10.1016/s0009-8981(03)00117-7.
- [14] Hu XY, Chi QR, Wang DX, et al. Hydrogen sulfide inhalation-induced immune damage is involved in oxidative stress, inflammation, apoptosis and the Th1/Th2 imbalance in broiler Bursa of Fabricius[J]. Ecotoxicol Environ Saf, 2018, 164: 201-209. DOI:10.1016/j.ecoenv.2018.08.029.
- [15] Jiang JJ, Chan A, Ali S, et al. Hydrogen sulfide: mechanisms of toxicity and development of an antidote[J]. Sci Rep, 2016, 6: 20831. DOI:10.1038/srep20831.

- [16] Parrish JS, Bradshaw DA. Toxic inhalational injury: gas, vapor and vesicant exposure[J]. *Respir Care Clin N Am*, 2004, 10(1): 43-58. DOI:10.1016/S1078-5337(03)00048-0.
- [17] 岳茂兴. 氮氧化物中毒损伤的临床救治研究与进展[J]. *中华急诊医学杂志*, 2001, 10(4): 222-223.
- [18] Li WL, Pauluhn J. Phosgene-induced acute lung injury (ALI): differences from chlorine-induced ALI and attempts to translate toxicology to clinical medicine[J]. *Clin Transl Med*, 2017, 6(1): 19. DOI:10.1186/s40169-017-0149-2.
- [19] He DK, Shao YR, Zhang L, et al. Adenovirus-delivered angiopoietin-1 suppresses NF- κ B and p38 MAPK and attenuates inflammatory responses in phosgene-induced acute lung injury[J]. *Inhal Toxicol*, 2014, 26(3): 185-192. DOI:10.3109/08958378.2013.872213.
- [20] Enkhbaatar P, Pruitt BA Jr, Suman O, et al. Pathophysiology, research challenges, and clinical management of smoke inhalation injury[J]. *Lancet*, 2016, 388(10052): 1437-1446. DOI:10.1016/S0140-6736(16)31458-1.
- [21] 陈育全, 林毓嫻, 张伊莉, 等. 职业性急性 1,2-二氯乙烷中毒致中毒性脑病 18 例分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2019, 9(10):778-780. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2019.10.013.
- [22] 易峰, 费淑桂, 袁旭光, 等. 急性二氧化硫中毒 158 例临床救治体会[J]. *中国急救医学*, 2010, 30(11):1046-1047. DOI : 10.3969/j.issn.1002-1949.2010.11.025.
- [23] 白彩云, 沈正高, 孙海青, 等. 急性氨气中毒五十二例调查分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2001, 19(2): 141-142.
- [24] 牛颖梅, 郝凤桐. 急性刺激性气体中毒防治研究现状[J]. *职业卫生与应急救援*, 2012, 30(4):190-193.
- [25] Akdur O, Durukan P, Ikizceli I, et al. A rare complication of chlorine gas inhalation: pneumomediastinum[J]. *Emerg Med J*, 2006, 23(11): e59. DOI:10.1136/emj.2006.040022.
- [26] 贾凌, 邵旦兵, 李百强, 等. 氯气中毒致纵隔气肿 2 例[J]. *中国急救医学*, 2009, 29(12):1149-1150.
- [27] 张利远, 李政, 陈静, 等. 大批量二氧化硫中毒临床救治分析[J]. *中国急救复苏与灾害医学杂志*, 2015, (2):134-135,139. DOI : 10.3969/j.issn.1673-6966.2015.02.010.
- [28] Guidotti TL. Hydrogen sulfide intoxication[J]. *Handb Clin Neurol*, 2015, 131: 111-133. DOI:10.1016/B978-0-444-62627-1.00008-1.
- [29] Wang XG, Zhang YH, Ni LF, et al. A review of treatment strategies for hydrofluoric acid burns: current status and future prospects[J]. *Burns*, 2014, 40(8): 1447-1457. DOI:10.1016/j.burns.2014.04.009.
- [30] 苏友焕. 急性硫化氢中毒后心肌损害的临床观察[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2008, 26(6): 381.
- [31] Zaky A, Bradley WE, Lazrak A, et al. Chlorine inhalation-induced myocardial depression and failure[J]. *Physiol Rep*, 2015, 3(6): e12439. DOI:10.14814/phy2.12439.
- [32] Alunni V, Gaillard Y, Castier F, et al. Death from butane inhalation abuse in teenagers: two new case studies and review of the literature[J]. *J Forensic Sci*, 2018, 63(1): 330-335. DOI:10.1111/1556-4029.13520.
- [33] Papi L, Chericoni S, Bresci F, et al. Fatal acute poisoning from massive inhalation of gasoline vapors: case report and comparison with similar cases[J]. *J Forensic Sci*, 2013, 58(2): 552-555. DOI:10.1111/1556-4029.12041.
- [34] 曹隽, 范晓理, 黄伟, 等. 工业有机氟气体中毒致心肌损伤三例分析[J]. *中华急诊医学杂志*, 2017, 26(5):586-588. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2017.05.020.
- [35] Anantharam P, Whitley EM, Mahama B, et al. Characterizing a mouse model for evaluation of countermeasures against hydrogen sulfide-induced neurotoxicity and neurological sequelae[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2017, 1400(1): 46-64. DOI:10.1111/nyas.13419.
- [36] Godani M, Canavese F, Migliorini S, et al. Ataxia with Parkinsonism and dystonia after intentional inhalation of liquefied petroleum gas[J]. *Neuropsychiatr Dis Treat*, 2015, 11: 1157-1159. DOI:10.2147/NDT.S80460.
- [37] Hassaballa HA, Lateef OB, Bell J, et al. Metal fume fever presenting as aseptic meningitis with pericarditis, pleuritis and pneumonitis[J]. *Occup Med (Lond)*, 2005, 55(8): 638-641. DOI:10.1093/occmed/kqi141.
- [38] Aggarwal S, Jilling T, Doran S, et al. Phosgene inhalation causes hemolysis and acute lung injury[J]. *Toxicol Lett*, 2019, 312: 204-213. DOI:10.1016/j.toxlet.2019.04.019.
- [39] Bathina G, Yadla M, Burri S, et al. An unusual case of reversible acute kidney injury due to chlorine dioxide poisoning[J]. *Ren Fail*, 2013, 35(8): 1176-1178. DOI:10.3109/0886022X.2013.819711.
- [40] Hoyle GW, Svendsen ER. Persistent effects of chlorine inhalation on respiratory health[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2016, 1378(1): 33-40. DOI:10.1111/nyas.13139.
- [41] Ghanei M, Akhlaghpour S, Moahammad MM, et al. Tracheobronchial Stenosis following sulfur mustard inhalation[J]. *Inhal Toxicol*, 2004, 16(13): 845-849. DOI:10.1080/08958370490506682.
- [42] Lee TK, Yoo HW, Bae SH, et al. Reactive airways dysfunction syndrome after hydrofluoric acid inhalation[J]. *Allergol Int*, 2016, 65(3): 343-344. DOI:10.1016/j.ait.2016.02.002.
- [43] Achanta S, Jordt SE. Toxic effects of chlorine gas and potential treatments: a literature review[J]. *Toxicol Mech Methods*, 2019: 1-13. DOI:10.1080/15376516.2019.1669244.
- [44] 孟自力, 郑惠安. 对急性氯气中毒患者康复后的肺功能随访[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2008, 26(7): 426-427.
- [45] Brooks SM, Weiss MA, Bernstein IL. Reactive airways dysfunction syndrome (RADS). Persistent asthma syndrome after high level irritant exposures[J]. *Chest*, 1985, 88(3): 376-384. DOI:10.1378/chest.88.3.376.
- [46] 朱钧, 王涤新. 急性氯气中毒后致支气管哮喘二例[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2007, 25(7):425-426.
- [47] 董建光, 邱泽武, 王浩春, 等. 急性吸入磷酸气体中毒 5 例临床分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2016, 34(9): 699-701. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.09.020
- [48] 杨志前, 范远玉, 张程. 以低钾血症为突出表现的急性三甲基氯化锡中毒临床分析[J]. *国际医药卫生导报*, 2020,26(14):2021-2024. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1007-1245.2020.14.011.
- [49] 李百强, 邵旦兵, 聂时南, 等. 急性氯气中毒胸部影像学及临床表现比较研究[J]. *中国急救医学*, 2011, 31(4): 375-379.
- [50] 耿平, 夏仲芳, 叶靖, 等. 急性有机氟气体中毒患者呼吸系统损害的特点分析[J]. *临床急诊杂志*, 2014, 15(2): 71-74.
- [51] 程文星, 张健, 周传毅, 等. 群体性急性光气中毒 24 例诊治分

- 析[J]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2015, 8(3): 68-69.
- [52] 王怜静, 李林平. 急性氯气中毒患者胸部 X 线和 CT 表现及诊断价值[J]. 中外医疗, 2013, 32(7):163,165.
- [53] 陈钰清, 翟晓力, 朱晓莉, 等. 急性重度氨中毒及其后期的肺损伤临床特征[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2016, 34(7): 538-540. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.07.016.
- [54] Walker PF, Buehner MF, Wood LA, et al. Diagnosis and management of inhalation injury: an updated review[J]. Crit Care, 2015, 19: 351. DOI:10.1186/s13054-015-1077-4.
- [55] Chen J, Chen SJ, Mao W. A case of survival: myocardial infarction and ventricular arrhythmia induced by severe hydrogen sulfide poisoning[J]. Cardiology, 2016, 135(1): 43-47. DOI:10.1159/000445938.
- [56] Carlisle M, Lam A, Svendsen ER, et al. Chlorine-induced cardiopulmonary injury[J]. Ann N Y Acad Sci, 2016, 1374(1): 159-167. DOI:10.1111/nyas.13091.
- [57] Dräger-Tubes & CMS Handbook, Dräger-Tubes & CMS Handbook 16th edition. https://www.draeger.com/Library/Content/tubeshandbook_br_9092086_en.pdf. Last accessed 10/2019.
- [58] Sastre C, Baillif-Couniou V, Kintz P, et al. Fatal accidental hydrogen sulfide poisoning: a domestic case[J]. J Forensic Sci, 2013, 58(Suppl 1): S280-S284. DOI:10.1111/1556-4029.12015.
- [59] Jin S, Hyodoh H, Matoba K, et al. Development for the measurement of serum thiosulfate using LC-MS/MS in forensic diagnosis of H₂S poisoning[J]. Leg Med (Tokyo), 2016, 22: 18-22. DOI:10.1016/j.legalmed.2016.07.007.
- [60] Elfsmark L, Ågren L, Akfur C, et al. 8-Isoprostane is an early biomarker for oxidative stress in chlorine-induced acute lung injury[J]. Toxicol Lett, 2018, 282: 1-7. DOI:10.1016/j.toxlet.2017.10.007.
- [61] Hemström P, Larsson A, Elfsmark L, et al. L- α -phosphatidylglycerol chlorohydrins as potential biomarkers for chlorine gas exposure[J]. Anal Chem, 2016, 88(20): 9972-9979. DOI:10.1021/acs.analchem.6b01896.
- [62] Ford DA, Honavar J, Albert CJ, et al. Formation of chlorinated lipids post-chlorine gas exposure[J]. J Lipid Res, 2016, 57(8): 1529-1540. DOI:10.1194/jlr.M069005.
- [63] Culley JM, Svendsen E, Craig J, et al. A validation study of 5 triage systems using data from the 2005 Graniteville, South Carolina, chlorine spill[J]. J Emerg Nurs, 2014, 40(5): 453-460. DOI:10.1016/j.jen.2014.04.020.
- [64] 中国急诊气道管理协作组. 急诊气道管理共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(6):705-708. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1949.2016.06.001.
- [65] 中国医师协会急诊医师分会, 中国毒理学会中毒与救治专业委员会. 急性中毒诊断与治疗中国专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2016, 25(11):1361-1375. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2016.11.004.
- [66] 《职业性急性化学物中毒呼吸系统疾病诊断标准》(GBZ73-2009).
- [67] Patel PH. Calculated decisions: RADS (Radiologist's Score) for smoke inhalation injury[J]. Emerg Med Pract, 2018, 20(3 Suppl): S3-S4.
- [68] 杜旭芹, 王涤新, 吴娜, 等. 氧疗对急性硫化氢中毒大鼠的心肌和肺及肝组织形态学的影响[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2011, 29(5): 338-342.
- [69] de Jonge E, Peelen L, Keijzers PJ, et al. Association between administered oxygen, arterial partial oxygen pressure and mortality in mechanically ventilated intensive care unit patients[J]. Crit Care, 2008, 12(6): R156. DOI:10.1186/cc7150.
- [70] Xu C, Jiang DW, Qiu WY, et al. Arterial oxygen pressure targets in critically ill patients: Analysis of a large ICU database[J]. Heart Lung, 2020 DOI:10.1016/j.hrtlng.2020.10.015.
- [71] 急诊氧气治疗专家共识组. 急诊氧气治疗专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(4): 355-360. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.04.004.
- [72] 白娟. 高压氧综合治疗急性硫化氢中毒 130 例疗效观察[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2016, 23(5): 399-401.
- [73] 曾作恩. 高压氧治疗氨气中毒一例[J]. 中华航海医学与高气压医学杂志, 2006, 13(5): 278.
- [74] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组, 中国医师协会呼吸医师分会危重症医学工作委员会. 成人经鼻高流量湿化氧疗临床规范应用专家共识[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2019, 42(2):83-91. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2019.02.003.
- [75] 卢晓, 张茂. 经鼻高流量氧疗成功救治氯气中毒导致急性呼吸窘迫综合征一例[J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(3):335-336. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.03.022.
- [76] Matos AM, Oliveira RR, Lippi MM, et al. Use of noninvasive ventilation in severe acute respiratory distress syndrome due to accidental chlorine inhalation: a case report[J]. Rev Bras Ter Intensiva, 2017, 29(1): 105-110. DOI:10.5935/0103-507X.20170015.
- [77] Graham S, Fairhall S, Rutter S, et al. Continuous positive airway pressure: an early intervention to prevent phosgene-induced acute lung injury[J]. Toxicol Lett, 2018, 293: 120-126. DOI:10.1016/j.toxlet.2017.11.001.
- [78] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组. 急性呼吸窘迫综合征患者机械通气指南(试行)[J]. 中华医学杂志, 2016, 96(06): 404-424.
- [79] Zellner T, Eyer F. Choking agents and chlorine gas - History, pathophysiology, clinical effects and treatment[J]. Toxicol Lett, 2020, 320: 73-79. DOI:10.1016/j.toxlet.2019.12.005.
- [80] 吉孝祥, 徐继扬, 谈定玉, 等. 有机氟气体吸入性中毒致急性肺损伤的治疗[J]. 齐齐哈尔医学院学报, 2012, 33(16):2158-2160.
- [81] 严重急性低氧性呼吸衰竭急诊治疗专家共识组. 严重急性低氧性呼吸衰竭急诊治疗专家共识[J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(8):844-849. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2018.08.005.
- [82] Guérin C, Reignier J, Richard JC, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome[J]. N Engl J Med, 2013, 368(23): 2159-2168. DOI:10.1056/NEJMoa1214103.
- [83] Etemad L, Moshiri M, Balali-Mood M. Advances in treatment of acute sulfur mustard poisoning - a critical review[J]. Crit Rev Toxicol, 2019, 49(3): 191-214. DOI:10.1080/10408444.2019.1579779.
- [84] 徐道剑, 王国涛, 卢翔, 等. 急性重度氨气中毒一例[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2018, 36(9):697-698. DOI:10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2018.09.018.
- [85] Haouzi P, Sonobe T, Judenherc-Haouzi A. Developing effective

- countermeasures against acute hydrogen sulfide intoxication: challenges and limitations[J]. *Ann N Y Acad Sci*, 2016, 1374(1): 29-40. DOI:10.1111/nyas.13015.
- [86] 周蓉, 卢宏. 一氧化二氮中毒致神经系统损伤的研究进展[J]. *中华神经科杂志*, 2018, 51(9):763-767. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1006-7876.2018.09.020.
- [87] 李晓凤, 孙德兴, 张韶民, 等. 急性汞中毒 40 例临床分析[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2009, 27(3): 185-186.
- [88] Wang JP, Zhang LM, Walther SM. Administration of aerosolized terbutaline and budesonide reduces chlorine gas-induced acute lung injury[J]. *J Trauma*, 2004, 56(4): 850-862. DOI:10.1097/01.ta.0000078689.45384.8b.
- [89] Jonasson S, Wigenstam E, Koch B, et al. Early treatment of chlorine-induced airway hyperresponsiveness and inflammation with corticosteroids[J]. *Toxicol Appl Pharmacol*, 2013, 271(2): 168-174. DOI:10.1016/j.taap.2013.04.037.
- [90] Güloğlu C, Kara IH, Erten PG. Acute accidental exposure to chlorine gas in the Southeast of Turkey: a study of 106 cases[J]. *Environ Res*, 2002, 88(2): 89-93. DOI:10.1006/enrs.2001.4324.
- [91] Gunnarsson M, Walther SM, Seidal T, et al. Effects of inhalation of corticosteroids immediately after experimental chlorine gas lung injury[J]. *J Trauma*, 2000, 48(1): 101-107. DOI:10.1097/00005373-200001000-00017.
- [92] 刘静, 寿勇明, 张叶, 等. 近 30 年我国急性光气中毒与接触反应 1132 例分析[J]. *职业卫生与应急救援*, 2013, 31(2): 68-70.
- [93] 张琳琳, 周树生, 刘宝, 等. 重度光气中毒致急性呼吸窘迫综合征患者的临床特点及救治策略[J]. *中国危重病急救医学*, 2012, 24(2):116-119.
- [94] 史军. 急性硝酸吸入性中毒一例[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2019, 37(2):155-156. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2019.02.020.
- [95] 岳茂兴, 夏锡仪, 李琰, 等. 突发群体性氯气中毒 1539 例临床救治[J]. *中华卫生应急电子杂志*, 2018, 4(3):145-151. DOI : CNKI:SUN:YJWS.0.2018-03-005.
- [96] 李景荣, 张海燕, 吴斌, 等. 急性固体光气中毒并吸入性肺损伤的救治[J]. *中华内科杂志*, 2007, 46(4): 317-318.
- [97] Aslan S, Kandış H, Akgun M, et al. The effect of nebulized NaHCO₃ treatment on "RADS" due to chlorine gas inhalation[J]. *Inhal Toxicol*, 2006, 18(11): 895-900. DOI:10.1080/08958370600822615.
- [98] van Helden HP, van de Meent D, Oostdijk JP, et al. Protection of rats against perfluoroisobutene (PFIB)-induced pulmonary edema by curosurf and N-acetylcysteine[J]. *Inhal Toxicol*, 2004, 16(8): 549-564. DOI:10.1080/08958370490442575.
- [99] 葛贇, 卢中秋. 硫化氢吸入性肺损伤机制和治疗的研究进展[J]. *中华急诊医学杂志*, 2012, 21(1): 101-103.[维普]
- [100] 柳月珍, 何爱文, 陈寿权, 等. 乌司他丁联合甲基强的松龙治疗急性吸入性有机氟中毒疗效观察[J]. *中华急诊医学杂志*, 2014, 23(5): 512-515.
- [101] Wigenstam E, Koch B, Bucht A, et al. N-acetyl cysteine improves the effects of corticosteroids in a mouse model of chlorine-induced acute lung injury[J]. *Toxicology*, 2015, 328: 40-47. DOI:10.1016/j.tox.2014.12.008.
- [102] 耿平, 徐继扬, 夏仲芳, 等. 重度急性有机氟吸入性中毒早期临床危险因素分析[J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2014, (5):345-349.
- [103] Pu QH, Qian JX, Tao WY, et al. Extracorporeal membrane oxygenation combined with continuous renal replacement therapy in cutaneous burn and inhalation injury caused by hydrofluoric acid and nitric acid[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(48): e8972. DOI:10.1097/MD.00000000000008972.
- [104] 王建强, 周萍, 李国民, 等. 大容量血液滤过抢救重度氯气中毒并急性呼吸窘迫综合征患者一例[J]. *中华急诊医学杂志*, 2008, 17(10): 1070.
- [105] 陆欢, 刘奇, 兰超. ECMO 在氨气中毒致急性呼吸衰竭患者中的应用[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(12):1542-1544. DOI : 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.12.022
- [106] 叶纪录, 濮雪华. ECMO 救治有机氟中毒病例报道[J]. *中华急诊医学杂志*, 2019, 28(10):1326-1328. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.10.0230
- [107] 何招辉, 杨小刚, 杨春丽. ECMO 治疗急性光气中毒致急性呼吸窘迫综合征: 附 4 例报告[J]. *中华危重病急救医学*, 2019, 31(2):232-235. DOI : 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2019.02.022
- [108] Peek GJ, Mugford M, Tiruvoipati R, et al. Efficacy and economic assessment of conventional ventilatory support versus extracorporeal membrane oxygenation for severe adult respiratory failure (CESAR): a multicentre randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2009, 374(9698): 1351-1363. DOI:10.1016/S0140-6736(09)61069-2.
- [109] 中国医师协会呼吸医师分会危重症医学专业委员会, 中华医学会呼吸病学分会危重症医学学组. 体外膜式氧合治疗成人重症呼吸衰竭推荐意见[J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2019, 42(9):660-684. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2017.04.024
- [110] 赵辉, 戈傲, 李荣发, 等. 体外膜肺氧合联合血液净化治疗氯气吸入致急性呼吸窘迫综合征 1 例[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2017, 35(4):312-313. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2017.04.024
- [111] 中国老年医学学会烧伤分会. 吸入性损伤临床诊疗全国专家共识(2018 版)[J]. *中华创伤杂志*, 2018, 34(11):971-976. DOI : 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.11.003
- [112] Clark KA, Karmaus WJ, Mohr LC, et al. Lung function before and after a large chlorine gas release in graniteville, south Carolina[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2016, 13(3): 356-363. DOI:10.1513/AnnalsATS.201508-525OC.
- [113] 张大军, 王红敏, 李理, 等. 突发群体硫化氢中毒急救救治探讨[J]. *中国危重病急救医学*, 2011, 23(8):500.
- [114] 孟庆义, 邱泽武, 王立祥. 突发中毒事件应急医学救援中国专家共识 2015[J]. *中华危重病急救医学*, 2015, 27(8): 625-629
- [115] 卢中秋, 邱俏檬, 金萧, 等. 24 例三光气急性中毒救治谈突发事件医疗急救的组织与管理[J]. *中国急救医学*, 2008, 28(1):80-81.
- [116] 中国研究型医院学会卫生应急学专业委员会, 中国中西医结合学会灾害医学专业委员会. 混合气体中毒卫生应急处置与临床救治专家共识(2016)[J]. *中华卫生应急电子杂志*, 2016, 2(6):325-332..

(收稿日期: 2020-11-06)

(本文编辑: 何小军)