

气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻的设计与应用

许臻芳¹ 范致远² 桂胜昊² 邵忠华³

桐乡市第一人民医院¹骨科,²急诊医学科,³重症医学科,浙江桐乡 314500

通信作者:范致远,Email:fanzhiyuan19880916@126.com

【摘要】 气管切开术后非机械通气患者的气道直接与空气相通,一方面容易导致气道失水、黏膜干燥、痰液干结,增加了肺部感染、肺不张等疾病的发生风险;另一方面容易造成分泌物喷溅,病原菌传播的风险。人工鼻不仅起到加温加湿的作用,还可起到封闭管路的作用。但人工鼻存在不足,患者在咳嗽时会将痰液喷溅至人工鼻的下壁,痰液随重力回落至患者呼吸道中,引起刺激性咳嗽,加重肺部感染;痰液黏附于人工鼻易造成患者气道阻力增大,严重时甚至造成气道阻塞。为此,桐乡市第一人民医院医护人员设计了一种气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻,获得了国家实用新型专利(专利号:ZL 2021 2 0672381.3)。该专利由新型防喷溅吸痰功能人工鼻本体和蓄痰鼓两部分组成,既可发挥人工鼻的加温湿化屏障功能,又能防止人工鼻被痰液阻塞的问题,从而既协助患者进行痰液引流,又能保护医务人员与周围环境,防止痰液喷溅及病原体的传播,有一定的临床价值。

【关键词】 气管切开术; 非机械通气; 人工鼻

基金项目:国家实用新型专利(ZL 2021 2 0672381.3);浙江省医药卫生科技计划项目(2024XL177);浙江省中医药科技计划项目(2024ZL1116)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.06.021

Design and application of a heat-and-moisture exchanger with anti-splash sputum-reservoir functions for tracheotomised patients with non-mechanical ventilation

Xu Liufang¹, Fan Zhiyuan², Gui Shenghao², Shao Zhonghua³

¹Department of Orthopedics, ²Department of Emergency, ³Department of Intensive Care Unit, Tongxiang First People's Hospital, Tongxiang 314500, Zhejiang, China

Corresponding author: Fan Zhiyuan, Email:fanzhiyuan19880916@126.com

【Abstract】 After tracheostomy, the airway of patients with non-mechanical ventilation is directly exposed to the external environment. This exposure can lead to airway dehydration, mucosal dryness, and sputum desiccation, thereby increasing the risk of pulmonary infection and atelectasis. Additionally, it can cause secretion splatter and the risk of pathogen transmission. The heat and moisture exchanger serves not only to provide heat and humidity but also to seal the circuit. However, the heat and moisture exchanger has its drawbacks. During coughing, sputum can be expelled into the inner surface of the heat and moisture exchanger, and due to gravity, it may fall back into the patient's respiratory tract, causing irritation and potentially worsening lung infection. Sputum adhering to the heat and moisture exchanger can also increase airway resistance and may even cause complete occlusion. Consequently, medical staff of the Tongxiang First People's Hospital designed a novel heat and moisture exchanger equipped with anti-sputum splash and sputum storage capabilities for patients with non-mechanical ventilation post-tracheostomy. This design has been awarded the National Utility Model Patent of China (Patent No.: ZL 2021 2 0672381.3). The patent comprises two components: a novel anti-splash heat and moisture exchanger and an integrated sputum-collection cartridge. This device preserves the heat and moisture exchanger's heat-and-moisture exchange and microbial-barrier functions while preventing sputum-related obstruction, facilitating passive drainage of secretions and minimising pathogen exposure for healthcare workers and the surrounding environment.

【Key words】 Tracheotomy; Non-mechanical ventilation; Heat-and-moisture exchanger

Fund program: National Utility Model Patent of China (ZL 2021 2 0672381.3); Zhejiang Provincial Medical and Health Science and Technology Program (2024XY177); Zhejiang Provincial Traditional Chinese Medicine Science and Technology Program (2024ZL1116)

DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2025.06.021

气管切开置管为人工气道的一种,目的是解除梗阻、促进肺部分泌物排出、协助脱机、减少镇静药物用量、增加患者舒适性等,主要用于呼吸道梗阻、需要长期机械通气的

患者^[1]。气管切开术后,非机械通气患者脱离了呼吸机的主动加温湿化系统,气道直接与外界相通,失去了上气道对吸入气体的加温、加湿、屏障等作用,容易导致气道失水、

黏膜干燥、痰液干结,增加了肺部感染、肺不张等的发病风险^[2]。针对此类患者的气道湿化问题,目前已有的方法包括湿纱布覆盖法、气道内间断/持续滴注、雾化吸入、高流量吸氧、人工鼻等^[2]。上述方法除人工鼻外均存在气道和外界环境相通的问题,容易造成分泌物喷溅、病原体传播的风险。一项网状 Meta 分析评估了多种气道湿化技术预防气管切开术后非机械通气患者肺部感染的效果,结果表明,人工鼻效果最佳^[3]。人工鼻也被称为温湿交换过滤器,主要用于建立人工气道患者的治疗。人工鼻的功能一方面由于其拥有湿化腔,能模拟鼻的功能,将气体以湿润温暖的状态送入气道;另一方面,它能阻挡病原体,起到过滤作用。人工鼻连接于气管插管,有湿润温暖气体的作用,以此减少干冷空气对气道黏膜的刺激,有呼吸道保护作用。与此同时,人工鼻的应用使管路处于相对封闭状态,在患者呼吸及咳嗽时能有效阻断呼吸系统中痰液或感染性物质以气溶胶或颗粒状态污染周边空气。本团队在早期研究中发明了一种有防喷溅结构的人工鼻,解决了现有技术中人工鼻不能密闭式吸痰的问题^[4]。然而,仅有防喷溅功能的人工鼻并不能满足临床需求,甚至出现了新的问题,伴随患者咳嗽,痰液会进入人工鼻下壁,又由于重力作用引起反流,诱发刺激性咳嗽。由于痰液引流不畅,严重时患者会发生呼吸机相关性肺炎。人工鼻被痰液黏附后容易造成患者气道阻力增大,严重时甚至造成气道阻塞^[5]。因此,本团队设计了一种气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻,既可发挥人工鼻的加温湿化屏障功能,又能防止人工鼻被痰液阻塞的问题,从而既协助患者进行痰液引流,又能保护医务人员及周围环境,防止痰液喷溅与病原体传播,并获得国家实用新型专利(专利号:ZL 2021 2 0672381.3),现报告如下。

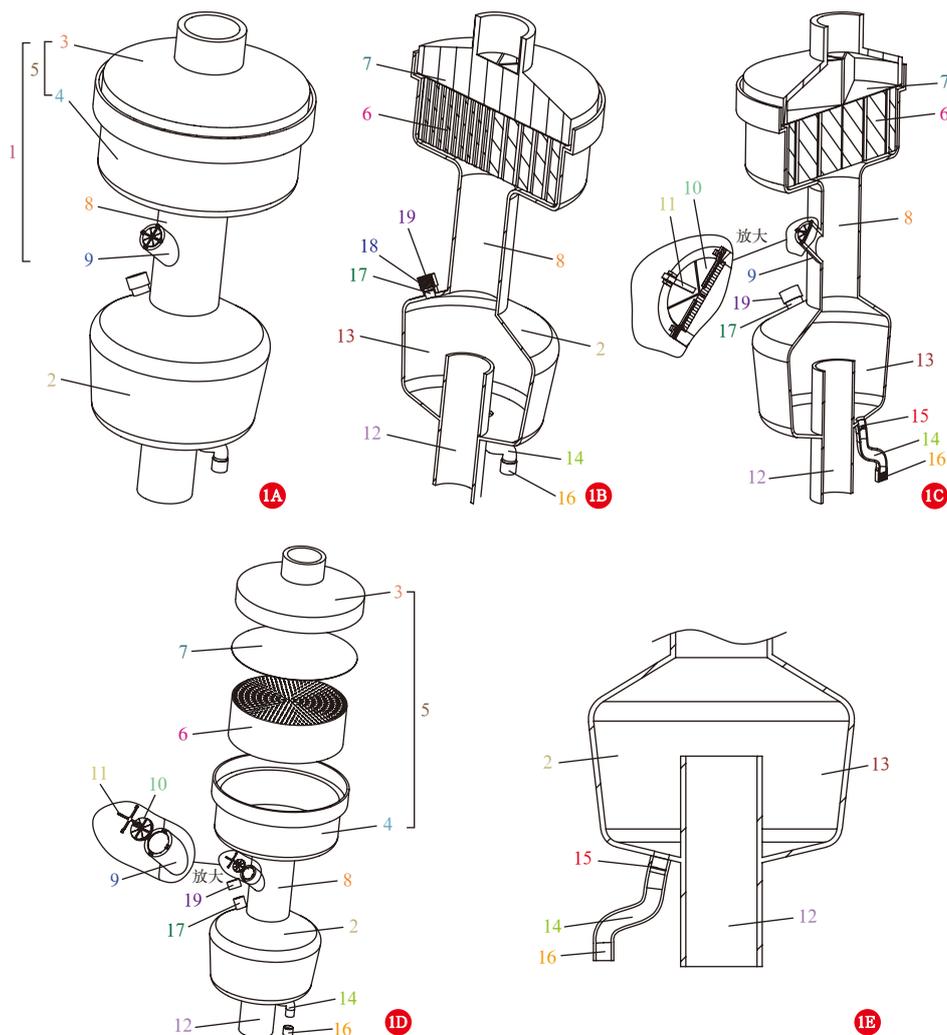
1 结构和功能

气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻主要由新型防喷吸痰功能人工鼻的自体(图 1-1)和蓄痰鼓(图 1-2)两部分组成。

1.1 自体: 由相对设置且能稳固地相互契合的上壳体

(图 1-3)与下壳体(图 1-4)构成,二者结合后形成一个内部空间,即容纳腔(图 1-5)。在该容纳腔内设有湿化滤芯(图 1-6)和过滤膜(图 1-7)。通过连接管(图 1-8)和吸痰管套管(图 1-9)使下壳体、容纳腔、吸痰管互通。吸痰管套管内设置均匀分布的密封膜瓣(图 1-10)以保证吸痰管套管的密闭性。每片密封膜瓣均配备相应的支座,支座内嵌入一根可围绕支座内转轴旋转的支撑杆^[4](图 1-11)。当自体与蓄痰鼓连接时,将形成一个封闭的系统。

1.2 蓄痰鼓: 蓄痰鼓的主体部分通过连接管与自体相连,下端则通过插接管(图 1-12)与气管切开口相接。插接管伸入蓄痰装置中心,蓄痰槽(图 1-13)呈环状结构。蓄痰鼓、连接管、插接管呈同轴配置,且连接管直径大于插接管,以确保其具备足够的痰液蓄积能力且不易反流。蓄痰鼓设计为两端逐渐缩小的橄榄型,上端与连接管相连处内壁光滑,整体外观形成喇叭状结构。此设计目的在于痰液喷出能沿着内壁滑落至蓄痰装置而非滴落,同时显著提升防回流效果。排



注:1为自体,2为蓄痰鼓,3为上壳体,4为下壳体,5为容纳腔,6为湿化滤芯,7为过滤膜,8为连接管,9为吸痰管套管,10为密封膜瓣,11为支撑杆,12为插接管,13为蓄痰槽,14为排痰管,15为第一阻隔膜瓣,16为第一密封盖,17为外接管,18为第二阻隔膜瓣,19为第二密封盖

图1 气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻结构示意图(A)、左侧剖视图(B)、右侧剖视图(C)、爆炸图(D)、蓄痰鼓剖视图(E)

痰管(图 1-14)固定连接与蓄痰鼓相通,痰液向下方汇集后通过排痰管进行痰液吸引,防止蓄痰鼓内痰液过满溢出。排痰管内有第一阻隔膜瓣(图 1-15),由中心对称分布的硅胶薄膜片构成,第一密封盖(图 1-16)位于排痰管远离蓄痰鼓的一端,呈可拆卸式,医务人员拆卸第一密封盖时痰液不会经此处流出。蓄痰鼓上部的外接管(图 1-17)是装置冲洗通道,内部设有第二阻隔膜瓣(图 1-18),远端设有可拆卸式第二密封盖(图 1-19)。冲洗时,液体呈单向流入排痰管并被顺利吸出。

1.3 使用该装置患者咳出痰液的去向(图 2):①痰液通过咳嗽附着于蓄痰鼓的管壁,并随后滑落至蓄痰槽;②痰液直接由咳嗽作用落入蓄痰槽;③在患者咳嗽力度较大时,痰液可能黏附于设备本体的连接管或下壳体表面,随后在重力作用下沿连接管壁下滑。插接管管径小于连接管的设置使痰液更易滴落蓄痰槽中,达到防止痰液回流的目的。该结构设计最大程度蓄积了痰液,且有储痰效果,防止痰液回流,减少患者呼吸道刺激和应激性咳嗽,不仅降低了肺部感染的风险,也一定程度节约了护理资源。

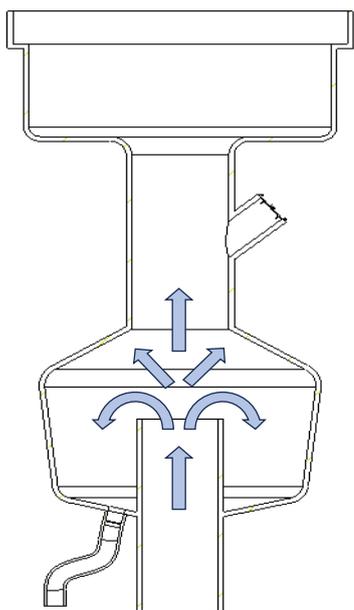


图 2 气管切开后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻痰液喷溅方向示意图

2 讨论

目前,对气管切开后非机械通气患者的最佳湿化方案仍不明确^[6]。湿化不足会使呼吸道黏膜干燥,影响纤毛运动,导致痰液黏稠,排出困难,造成管道阻塞或肺部感染;湿化过度会导致频繁咳嗽、吸痰,造成缺氧甚至窒息等后果^[7-8]。合适的湿化可减少炎症细胞因子的释放,减轻炎症反应,从而保护气道上皮细胞^[9]。人工鼻是被动湿化装置,呼气阶段装置内会保留大部分水分和热量,吸气阶段气体就会得到加湿加温,类似鼻腔湿化^[4]。一项 Meta 分析结果显示,主动加湿湿化相较于人工鼻在气道阻塞发生率、肺炎发生率、病

死率方面并无优势^[10]。但该研究人群包含了所有人工气道机械通气患者,并不一定适用于气管切开后非机械通气患者。目前认为人工鼻和主动加湿湿化法均是气管切开后非机械通气患者常用且有效的湿化方法,但哪种方法更优仍有争议。高流量氧疗湿化使用了主动加湿湿化系统,对气管切开后非机械通气患者有较好的湿化效果^[2,11]。刘英等^[3]针对气道湿化方法进行网状 Meta 分析,结果显示,人工鼻对气管切开后非机械通气患者的气道湿化最有效,第二位是文丘里吸氧湿化装置。郭润玲等^[7]比较了文丘里吸氧联合主动加湿加湿与鼻导管联合人工鼻对气管切开后非机械通气患者的湿化效果,结果显示,前者湿化效果更好、肺部感染发生率更低。该研究中由于人工鼻直接连接气管切开口,相比于连接气管插管接口距离更短,痰液更易黏附于人工鼻内,增加了呼吸阻力和呼吸做功^[4,12],同时影响湿化效果。本团队前期研究发明了新型防喷溅吸痰功能人工鼻^[4],在人工鼻装置基础上增加了吸痰功能,降低了痰液阻塞人工鼻的风险。由于气管切开口长度更短,痰液咳出后更易黏附于人工鼻,而且痰液如无法及时引流,容易掉落至气管切开口套管内,造成患者刺激性咳嗽、甚至导致肺部感染等情况。故本团队对新型防喷溅吸痰功能人工鼻进行了改良,增加了蓄痰冲洗装置,专用于气管切开后非机械通气患者,减少了人工鼻被阻塞及痰液回落至气道内的风险。

气管切开后非机械通气患者咳嗽、咳痰时的防喷溅问题需要临床关注。研究表明,模拟患者仰卧位时,咳嗽喷溅出气溶胶的距离能达到 86 cm^[13],而且在环境中可保持 3 h^[14]。Canelli 等^[15]的研究表明,气溶胶盒能防止气管插管时的液滴喷溅,但该装置限制了双手的活动,延缓了气管插管的速度。Brown 等^[16]对气溶胶盒进行了改良,用梅奥支架悬挂一层塑料透明薄膜将患者头面部及上半身躯体包围,可有效防止气管插管或拔管时气溶胶的喷溅,同时不影响双手的操作过程。一项多中心随机对照研究证实,气管插管时使用气溶胶盒可显著减少气道操作者躯体和头面部的气溶胶喷溅^[17]。有研究者在气溶胶盒基础上加用负压吸引系统可更有效地减少病毒性气溶胶的播散^[18]。上述装置主要适用于气管插管或拔管过程中的防喷溅,是否适用于气管切开后非机械通气患者仍有待临床验证。气管切开口套管相较于气管插管更短,死腔更小,痰液、气溶胶更易喷溅至周围环境。Liu 等^[19]发明了一种“安全盖”装置,可连接于气管插管、气管切开口套管口,起到屏障的作用。该研究对“安全盖”装置进行了各项测试,结果表明,该装置可有效减少气道分泌物的喷溅,同时降低病原菌传播的风险。“安全盖”装置能阻碍高速呼出的气流从而防止喷溅,但不能完全隔绝,仍有一小部分气溶胶会进入周围环境。本研究中人工鼻有过滤膜,既能阻隔病原微生物,起到相对密闭的作用,又能阻隔气溶胶的喷溅。有研究表明,T 管连接人工鼻和密闭式吸痰装置形成密闭环路,既能发挥防喷溅作用又能维持气道湿化^[6,20]。邢卫珠等^[21]研究显示,气管切开后非机械通气患者使用人工鼻联合密闭式吸痰方法相较于常规湿化和吸

痰方法,能减少痰量和患者刺激性咳嗽,保证了湿化效果也降低了医护人员的职业暴露风险。本研究中的吸痰口安装 4 片密封膜瓣,插入吸痰管时可将其封闭,起到单向活瓣的作用,能更好地提升吸痰管插入后的密闭性^[4]。此外,本研究使用一次性吸痰管,通过防喷溅设计的吸痰口,避免了密闭式吸痰管痰液残留阻塞、细菌定植多等弊端^[22]。

综上所述,气管切开术后非机械通气患者专用防喷溅蓄痰功能人工鼻既可对吸入空气进行加温加湿,又可发挥防喷溅功能,同时对咳出的痰液进行及时冲洗引流,有一定的临床应用价值,但具体效果仍需临床研究证实。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Whitmore KA, Townsend SC, Laupland KB. Management of tracheostomies in the intensive care unit: a scoping review [J]. *BMJ Open Respir Res*, 2020, 7 (1): e000651. DOI: 10.1136/bmjresp-2020-000651.
- [2] 郭润玲,孙兆清,王耀勇,等.高流量湿化氧疗在气管切开非机械通气患者中的应用[J].*中华危重病急救医学*, 2021, 33 (9): 1133-1135. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20210425-00104.
- [3] 刘英,肖涛,张小红,等.国内气管切开后非机械通气患者气道湿化方法的网状 Meta 分析[J].*中国实用护理杂志*, 2019, 35 (29): 2304-2309. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1672-7088.2019.29.013.
- [4] 范致远,许盛芳,邵忠华,等.新型防喷溅吸痰功能人工鼻的设计和應用[J].*中华危重病急救医学*, 2022, 34 (11): 1206-1208. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20220307-00212.
- [5] Dewasurendra AM, McHugh SM. High peak inspiratory pressures after a change of heat and moisture exchangers: a case series [J]. *A A Pract*, 2021, 15 (6): e01483. DOI: 10.1213/XAA.0000000000001483.
- [6] Mu J, Wang TY, Ji MM, et al. Tracheostomy care of non-ventilated patients and COVID considerations: a scoping review of clinical practice guidelines and consensus statements [J]. *J Clin Nurs*, 2024, 33 (8): 3033-3055. DOI: 10.1111/jocn.17116.
- [7] 郭润玲,王颖,王耀勇,等.文丘里联合 MR850 在气管切开患者脱机状态下的应用研究[J].*中华危重病急救医学*, 2018, 30 (10): 943-945. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.10.007.
- [8] 吴建华,郭润玲,田艳红,等.肺康复训练在气管切开非机械通气患者中的效果:一项前瞻性队列研究[J].*中华危重病急救医学*, 2024, 36 (11): 1153-1156. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240304-00189.
- [9] Sheng HL, Ni J, Zhao F, et al. Application of the integrated airway humidification device enhances the humidification effect of the rabbit tracheotomy model [J]. *Open Life Sci*, 2024, 19 (1): 20220825. DOI: 10.1515/biol-2022-0825.
- [10] Vargas M, Chiumello D, Sutherland Y, et al. Heat and moisture exchangers (HMEs) and heated humidifiers (HHs) in adult critically

ill patients: a systematic review, meta-analysis and meta-regression of randomized controlled trials [J]. *Crit Care*, 2017, 21 (1): 123. DOI: 10.1186/s13054-017-1710-5.

- [11] 张伟伟,程会兰,丰金香,等.高流量氧疗在气管切开非机械通气重症康复患者中的应用价值[J].*反射疗法与康复医学*, 2024, 5 (13): 64-66, 78.
- [12] Boots RJ, George N, Faoagali JL, et al. Double-heater-wire circuits and heat-and-moisture exchangers and the risk of ventilator-associated pneumonia [J]. *Crit Care Med*, 2006, 34 (3): 687-693. DOI: 10.1097/01.CCM.0000201887.51076.31.
- [13] Chan M, Chow BK, Lo T, et al. Exhaled air dispersion during bag-mask ventilation and sputum suctioning - Implications for infection control [J]. *Sci Rep*, 2018, 8 (1): 198. DOI: 10.1038/s41598-017-18614-1.
- [14] van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1 [J]. *N Engl J Med*, 2020, 382 (16): 1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973.
- [15] Canelli R, Connor CW, Gonzalez M, et al. Barrier enclosure during endotracheal intubation [J]. *N Engl J Med*, 2020, 382 (20): 1957-1958. DOI: 10.1056/NEJMc2007589.
- [16] Brown H, Preston D, Bhoja R. Thinking outside the box: a low-cost and pragmatic alternative to aerosol boxes for endotracheal intubation of COVID-19 patients [J]. *Anesthesiology*, 2020, 133 (3): 683-684. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003422.
- [17] Cheng A, Pirie J, Lin YQ, et al. Aerosol box use in reducing health care worker contamination during airway procedures (AIRWAY Study): a simulation-based randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*, 2023, 6 (4): e237894. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.7894.
- [18] Simpson JP, Wong DN, Verco L, et al. Measurement of airborne particle exposure during simulated tracheal intubation using various proposed aerosol containment devices during the COVID-19 pandemic [J]. *Anaesthesia*, 2020, 75 (12): 1587-1595. DOI: 10.1111/anae.15188.
- [19] Liu LL, Deng Y, Xia SL, et al. A "safety cap" for improving hospital sanitation and reducing potential disease transmission [J]. *BMC Infect Dis*, 2023, 23 (1): 589. DOI: 10.1186/s12879-023-08566-5.
- [20] De Seta D, Carta F, Puxeddu R. Management of tracheostomy during COVID-19 outbreak: heat and moisture exchanger filter and closed suctioning system [J]. *Oral Oncol*, 2020, 106: 104777. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2020.104777.
- [21] 邢卫珠,陈小玲.非机械通气管切开患者应用人工鼻联合密闭式吸痰管护理的应用效果观察[J/CD].*临床医药文献电子杂志*, 2019, 6 (42): 145, 148. DOI: 10.16281/j.cnki.jocml.2019.42.104.
- [22] Lu K, Wu WZ, Jin GM, et al. Application of a new type of protective sputum suction device in clinic against cross-infection between medical staff and patients [J]. *Crit Care Res Pract*, 2023, 2023: 9927819. DOI: 10.1155/2023/9927819.

(收稿日期: 2025-03-21)

(责任编辑: 邸美仙)

《中国中西医结合急救杂志》关于规范医学名词的写作要求

医学名词应使用全国科学技术名词审定委员会公布的名词。尚未通过审定的学科名词,可选用最新版《医学主题词表(MeSH)》《医学主题词注释字顺表》《中医药主题词表》中的主题词。对没有通用译名的名词术语,于文内第一次出现时应注明原词。中西药名以最新版本《中华人民共和国药典》和《中国药品通用名称》(均由中国药典委员会编写)为准。英文药物名称则采用国际非专利药名。在题名及正文中,药名一般不得使用商品名,确需使用商品名时应先注明其通用名称。中医名词术语按 GB/T 16751.1/3-1997《中医临床诊疗术语疾病部分/治法部分》、GB/T 16751.2-2021《中医临床诊疗术语 第 2 部分:证候》和 GB/T 20348-2006《中医基础理论术语》执行;腧穴名称与部位名词术语按 GB/T 12346-2021《经穴名称与定位》和 GB/T 13734-2008《耳穴名称与定位》执行。中药应采用正名,药典未收录者应附注拉丁文名称。冠以外国人名的人名、病名、试验、综合征等,人名可以用中译名,但人名后不加“氏”(单字名除外,例如福氏杆菌);也可以用外文,但人名后不加“s”。例如: Babinski 征,可以写成巴宾斯基征,不得写成 Babinski's 征,也不写成巴宾斯基氏征。