

· 综 述 ·

慢性阻塞性肺疾病急性加重期伴便秘中西医护理研究进展*

白冰悦¹综述,张玉莲^{2△},朱火兰²,张慧瑛¹,许焕焕¹审校

(1.延安大学医学院,陕西延安 716000;2.陕西省人民医院,陕西西安 710068)

[摘要] 慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)会对疾病的进展产生负面影响,伴发便秘时,严重威胁患者生存质量及生命安全。该文阐述了便秘的评定、AECOPD 伴便秘的负性影响因素、病机理论,着重归纳整理了中西医护理方法,旨在通过中西医护理缓解 AECOPD 患者便秘,改善其肺功能及炎症指标,提高其生存质量。

[关键词] 慢性阻塞性肺疾病急性加重期;便秘;中西医护理;中医护理适宜技术;综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2023.12.028 **中图法分类号:**R47

文章编号:1009-5519(2023)12-2118-05 **文献标识码:**A

Research progress of traditional Chinese and western medicine nursing in acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease with constipation*

BAI Bingyue¹,ZHANG Yulian^{2△},ZHU Huolan²,ZHANG Huiying¹,XU Huanhuan¹

(1. Medical School of Yan'an University, Yan'an, Shaanxi 716000, China;

2. Shaanxi Provincial People's Hospital, Xi'an, Shaanxi 710068, China)

[Abstract] Acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease(AECOPD) have a great negative impact on the process of the disease. And when accompanied by constipation, it will seriously threaten the quality and safety of life of patients. This article expounds the diagnosis of constipation, the negative risk factors and the theory of pathogenesis of AECOPD with constipation, and emphatically summarizes the traditional Chinese and western medicine nursing methods for the disease. It aims to relieve constipation of patients with AECOPD, improve their lung function, inflammatory indexes and life quality through traditional Chinese and western medicine nursing.

[Key words] Acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease; Constipation; Traditional Chinese and western medicine nursing; Appropriate nursing technology of traditional Chinese medicine; Review

慢性阻塞性肺疾病急性加重期(AECOPD)患者呼吸道症状急剧恶化,呼吸困难、咳嗽喘息等临床症状不断加重,不仅使其再入院率增加,还会加重其心理、经济及社会负担^[1-2]。据报道,AECOPD 患者 5 年生存率仅为 50%,是慢性阻塞性肺疾病的主要致死因素^[3]。AECOPD 患病人群多以老年人为主,随着年龄增长,老年人肠道神经系统发生退行性变,盆底肌肉力量下降,患者排便更加用力,易使腹内压升高,进一步加重呼吸困难,甚至发生猝死^[4]。一项病例对照研究显示,有 38% 的 AECOPD 老年住院患者排便频率较低,即 3 d 内排便少于 1 次或在住院前 3 d 没有排便^[5]。便秘对患者的危害不言而喻,因此,对 AE-

COPD 伴便秘患者采取护理干预尤为关键。本文对 AECOPD 伴便秘的中西医护理进行综述,将西医综合护理干预与中医护理适宜技术有机结合以达到更佳的护理效果,使更多患者受益。

1 便秘评定及 AECOPD 伴便秘的负性影响因素

1.1 便秘评定 《罗马Ⅳ:功能性胃肠病/肠-脑互动异常》指出功能性便秘诊断标准如下:在排便时,(1)有超过 1/4 的时间排便费力,或出现硬块便,或无法将粪便排尽,或发生粪便嵌塞梗阻,或需要进行人工辅助排便,或排便次数每周少于 3 次。以上 6 种情况,必须满足 2 项及以上。(2)如不使用导泻剂,几乎不能自主排出大便。(3)诊断便秘型肠易激综合征证

* 基金项目:陕西省 2020 年重点研发计划项目(2020ZDLSF01-08)。

△ 通信作者,E-mail:zhangyulian03@163.com。

据不充分。患者确诊前临床症状至少已存在 6 个月,且在近 3 个月内已满足上述诊断标准^[6-7]。

1.2 AECOPD 伴便秘的负性影响因素

1.2.1 与疾病因素有关

(1)与 AECOPD 疾病本身有关:GAU 等^[5]在一项回顾性病例对照研究中调整了 AECOPD 伴便秘患者当前吸烟状况、认知障碍、钾钙铁的补充、使用抗胆碱能药物等混杂因素后,发现患者便秘风险约增高 47%。(2)与药物不良反应有关:DEVEREUX 等^[8]研究发现 AECOPD 患者常用的茶碱类药物致使发生胃肠道反应的概率为 2.7%;HANLON 等^[9]发现使用长效毒蕈碱拮抗剂可能会因药物的抗胆碱能反应引发便秘。

1.2.2 与个人因素有关

(1)与心理精神因素有关:AECOPD 伴便秘患者因病程长、经济条件有限、对疾病不确定感、药物不良反应等影响,可能出现认知功能欠佳,焦虑、抑郁等精神心理障碍,可抑制胃肠道平滑肌和横纹肌功能,增加盆底肌肉紧张度,同时影响副交感神经系统,引起便秘^[10]。(2)与吸烟有关:吸烟是 AECOPD 的危险因素之一,有研究显示,当机体长期吸入香烟中的有害物质时,会加速病原体生长,减少肠道内双歧杆菌数量,降低体内短链脂肪酸的产生,造成肠道生态失调^[11]。(3)与年龄及受教育程度有关:江萍等^[12]认为 AECOPD 老年患者咀嚼功能减退,饮食多以细软少为主,可使胃肠蠕动减慢,长此以往导致便秘。此外,患者受教育程度越高,疾病自我学习、自我保健、自我管理的能力越强,疾病依从性越高,便秘的发生率就越低。(4)与对便秘的认知有关:潘慧等^[13]研究发现仅有 28.57% 的 AECOPD 伴便秘患者会主动向医生提出治疗便秘,67.35% 的患者并没有重视便秘,甚至不知晓何为便秘,常以腹部不适为主诉要求治疗。此外,饮水量及膳食纤维摄入不足、活动量减少、抑制便意等也可导致便秘。

2 AECOPD 伴便秘的病机理论

2.1 西医理论

从胚胎的起源及发育角度看,肠与肺两者生长发育的组织学基础是初化的肠道皱襞,气管及肺部支气管均起源于此。二者中均存在丰富的活性物质相关蛋白 A,其可降低肺泡表面张力,促使呼吸平稳^[14]。从肺肠道微生物群角度看^[15-16],基于“肺-肠轴”双向连接理论,当 AECOPD 患者机体免疫力受损时,肠道菌群的代谢产物短链脂肪氨基酸持续减少,大量的革兰阴性菌释放肠毒素入血,经血液循环到达肺部。当肺部发生炎症时,肠黏膜保护屏障严重受损,造成免疫功能失调,使炎症扩散至肠道。从神经病学角度看,AECOPD 患者机体长期处于缺氧状态,易引发自主神经系统功能异常,使交感神经过度兴奋,肠蠕动减慢,大量内容物在肠道内不断积聚,

最终引发便秘^[17]。从生理功能看,胃肠道内的部分气体可经肺部排出体外,AECOPD 患者常伴呼吸衰竭,易使胃肠气体排出受限而引起腹胀,久之引发便秘^[18]。

2.2 中医理论

肺与大肠经络相互联系。经络系统由经脉和络脉组成,十二经脉是经络系统的主体。手太阴肺经上起中焦,下络大肠,后又向上穿过横膈膜,归于肺脏;手阳明大肠经上起食指尖端,下入缺盆处,分支网络肺脏,又向下穿过横膈膜,归于大肠。

肺与大肠生理相互为用。秋脉主肺属金,秋时宿叶落柯,萋萋枝条,人体脉象来去急散,故秋季肺脉如毛而浮。肺主气,主宣发肃降,开窍于鼻,其液为涕,其色为白,其经手太阴,与大肠合。大肠五行属金,旺于秋,主津,主传导,承接下移残渣并排泄糟粕,其经手阳明,肺之腑也。肺气肃降下移正常,则大肠传导正常,反之亦然。

肺与大肠病理相互影响。古书记载:“肺气不通,肺失肃降,津液不能下行,可使大肠燥结,肠枯便秘。”气下行不利,津下行不畅,则腑气不通,邪痹于大肠,肠燥失润;大肠传导壅滞,则腑气阻滞,上逆遗于肺,喘咳胸闷^[19-20]。

3 AECOPD 伴便秘的中西医护理

目前,AECOPD 伴便秘的治疗主要包括以饮食护理、运动护理、用药护理、心理护理、健康教育为主的西医综合护理干预和以穴位敷贴、循经穴位按摩、热熨法、针刺法、中药保留灌肠为主的中医护理适宜技术。

3.1 西医综合护理干预

3.1.1 饮食护理

鼓励 AECOPD 伴便秘患者多进食润肠通便的高膳食纤维及高维生素食物,如魔芋、燕麦、南瓜、苹果、火龙果等;病情允许情况下,每天饮水量可大于 1 500 mL,防止大便干结。

3.1.2 运动护理

(1)呼吸及提肛运动:护士指导患者进行缩唇及腹式呼吸训练、胸腔松动锻炼等肺康复治疗,同时可配合提肛运动,即深吸气和呼气时,肛门配合做收缩和舒张运动,以增强肛周肌肉力量,扩张肛周静脉,使血流速度加快,加速直肠运动,缓解便秘^[21-22]。(2)腹部环形按摩:指导患者沿小肠、升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠、直肠的解剖顺序,按顺时针方向从右向左进行按摩,加快肠内容物下移速度。按摩时嘱患者动作轻柔,力量适中,帮助患者固定每天的排便时间,重建排便习惯,排便时要全心全意,不看手机、书籍等^[21]。

3.1.3 用药护理

目前,临床上治疗 AECOPD 伴便秘多用口服微生态调节剂,如双歧杆菌三联活菌、渗透性通便剂乳果糖、聚乙二醇电解质散等,泻剂多用

开塞露、番泻叶、蓖麻油等,以上药物治疗均无效或超过 5 d 便秘者行肥皂水灌肠,甚至人工取便。此外,还可以通过向肠道移植正常菌群、生物反馈法等方式来缓解便秘^[23-24]。

3.1.4 心理护理 AECOPD 病程长,患者易出现疾病倦怠,伴便秘时更易产生负性情绪,护士可指导患者进行放松训练,并加强与家属沟通,使患者获得更多社会情感支持,提升其坚持健康行为的信心^[24-25]。

3.1.5 健康教育 可阶段性地组织健康知识宣讲,使患者了解便秘的原因、缓解方法及保持大便通畅的重要性,引导其积极配合治疗;组织病友进行病情交流座谈会,分享自身心得或提出疑惑,帮助患者及时纠正对疾病的错误认知,增强其治疗信心^[26]。

3.2 中医护理适宜技术

3.2.1 穴位敷贴 穴位敷贴是指将中药材捣碎捻成细末后,加入适量酒、醋、蜂蜜等赋形剂调成糊状,制成各种剂形的敷贴贴于不同穴位处,可起到不同功效。治疗 AECOPD 伴便秘多用大黄、火麻仁、枳壳等中药材,取神阙、天枢、中脘等穴位。大黄内含“结合性大黄酮”类物质,具有清热泻火,抵挡胃肠积热之效;火麻仁油脂含量十分丰富,可润肠道、促通便;枳壳具有运气通血、减轻腹部胀气、促进胃肠平滑肌蠕动的作用。神阙穴位于脐窝正中,可维持人体本原之气,起到理气和胃的作用;天枢穴位于脐中位左右旁开两寸,可治疗泻肚、腹胀、便秘等;中脘穴位于脐上四寸处与前正中线相交,可治疗胃脘痛、食不化等消化系统疾病。王海燕等^[27]将泻热通肠贴贴于神阙、天枢穴,发现可有效缩短 AECOPD 伴便秘患者的排便时间,减轻便秘,同时可控制呼吸道症状,缩短住院时间。孟晶晶等^[28]取大椎、中脘、肺俞、神阙等穴位,同时使用无烟艾灸和穴位敷贴,结果与王海燕等^[27]研究一致,且无烟艾灸可温经散寒,改善气血,与传统艾灸相比更为安全便捷。

3.2.2 循经穴位按摩 循经穴位按摩是指用专业手法按摩人体体表的腧穴,通过刺激相关穴位疏通经络调节气血。李兴燕^[29]采用点按法和揉法循经按摩手太阴肺经、手阳明大肠经治疗 AECOPD 伴便秘。其中手太阴肺经以按摩中府、尺泽、孔最、列缺等穴位为主,具有平喘、镇咳、缓解咽痛之效;手阳明大肠经以按摩商阳、三间、合谷、手三里等穴位为主,具有清泄阳明郁热,调理大肠气血之效。此二经脉每天交替按摩 1 次,不但可以缓解 AECOPD 患者的肺部症状,促进肺功能康复,还可加快其腹部血液循环,加速糟粕传化。孟亚慧^[30]在治疗 AECOPD 伴便秘时设置手太阴肺经、手阳明大肠经、肺大肠合经 3 个按摩组,并于清晨 07:00—09:00 进行循经按摩。该研究结果发

现,3 条经脉两两搭配的按摩效果均优于单条经脉按摩,且疗效与李兴燕^[29]研究一致。

3.2.3 热熨法 热熨法是指将药物、粗盐等物质加热后,做成热熨包放于相关穴位并来回移动,利用热力作用使药物充分发挥药效,以达到解除病痛的目的。何文芳等^[31]研究发现,用吴茱萸、白芥子、苏子、莱菔子四味药材再加以粗盐制成四子散热熨包,置于神阙、关元、下脘、天枢等穴位处热熨按摩,其总体有效率远超于单纯常规护理组。该方中苏子性辛温,含有大量油脂及酸性物质,可降脂降压、治疗肠燥便秘;白芥子可入肺经,治疗喘证及咳嗽。四味中药配以粗盐既可使血管扩张,加速药物吸收,改善 AECOPD 患者肺部炎症及动脉血氧分压,又可缓解其便秘,提高生存质量。董玉红等^[32]使用粗盐及艾绒制成艾盐包热熨,具体操作与何文芳等^[31]研究相似。结果显示艾盐包热熨可活血通络、降低便秘症状评分、缓解胃肠道不适及咳嗽喘息等症状。

3.2.4 针刺法 针刺法是指用不同针具,采用一定手法,刺入人体相应穴位的一种治疗方法。治疗 AECOPD 伴便秘多选取足三里、气海、上巨虚、天枢、中脘等穴位进行针刺。足三里位于小腿外膝眼下三寸,配伍中脘、天枢等穴位,具有燥化脾湿、和胃利气之效;气海穴位于前正中线与脐下一点五寸相交处,上巨虚穴位于胫骨前肌,小腿外膝眼下六寸,二者均可治疗腹痛胀满及便秘。葛凯杰等^[33]在使用新斯的明穴位注射的基础上联合针刺疗法治疗 AECOPD 患者因机械通气引起的胃肠功能障碍。该研究结果证实,针刺法不仅可以调节胃肠道免疫、血供等,还可缓解腹胀、便秘,改善胃肠激素水平,促使胃肠道平滑肌收缩,加速胃肠道运动。熊卓吾等^[34]用四磨汤加味方配以针刺疗法治疗 AECOPD 患者伴便秘,结果与葛凯杰等^[33]一致,且能缩短无创通气时间,减轻肠道炎症反应。

3.2.5 中药保留灌肠 中药保留灌肠是将中药药液作为灌肠溶液,具体操作方式同西医保留灌肠。张玉^[35]将川芎、地龙、炙麻黄、桃仁、厚朴、当归等药物制成平喘汤,行保留灌肠 20 min,同时配予西医药物治疗 AECOPD 伴便秘。此药方前三味药具有开郁行气、清热平喘、发汗宣肺之效,后三味药主要以疏通大肠、消积清泄为主。该干预措施可有效改善便秘中医证候、增强患者肺功能、提高机体免疫力、提升患者生活幸福指数。任建等^[36]研究发现常规治疗加无创通气,再联合承气灌肠液保留灌肠 30 min 后,AECOPD 伴便秘患者的各项指标均有所缓解。此承气灌肠液主要以厚朴、生大黄、葶苈子、瓜蒌、丹参等药物为主,可减少胃肠胀气,改善心肺功能,提高机体含氧量,增

强无创通气效果。

4 小结与展望

AECOPD 患者伴便秘时采用中西医护理,一方面可使患者对疾病基础知识有一定了解,能够有意识地合理调整饮食结构,坚持适当运动,保持心情愉悦舒畅;另一方面可改善患者肺部炎症,增强机体免疫功能和抗炎水平,降低腹内压,促进肠蠕动,缓解便秘,提高生存质量。目前,中西医关于 AECOPD 伴便秘的护理措施在各自领域虽有不同,但均极具特色,且中医护理近年来也被逐渐接受和推崇。期待未来能有更多相关研究,为 AECOPD 伴便秘的护理提供新视角,为患者健康保驾护航。

参考文献

[1] 国家卫生健康委员会急诊医学质控中心,中华医学会急诊医学分会,中国医师协会急诊医师分会,等. 中国慢性阻塞性肺疾病急性加重中西医诊治专家共识(2021)[J]. 中华危重病急救医学, 2021,33(11):1281-1290.

[2] 诊治专家组慢性阻塞性肺疾病急性加重 AECOPD. 慢性阻塞性肺疾病急性加重(AECOPD)诊治中国专家共识(2017 年更新版)[J]. 国际呼吸杂志, 2017,37(14):1041-1057.

[3] HOOGENDOORN M, HOOGENVEEN R T, RUTTEN-VAN M M, et al. Case fatality of COPD exacerbations: A meta-analysis and statistical modelling approach[J]. Eur Respir J, 2011,37(3):508-515.

[4] MCCREA G L, MIASKOWSKI C, STOTTS N A, et al. Pathophysiology of constipation in the older adult[J]. World J Gastroenterol, 2008, 14(17):2631-2638.

[5] GAU J T, ACHARYA U H, KHAN M S, et al. Risk factors associated with lower defecation frequency in hospitalized older adults: A case control study[J]. BMC Geriatr, 2015, 15:44.

[6] 李军祥,陈詒,柯晓. 功能性便秘中西医结合诊疗共识意见(2017 年)[J]. 中国中西医结合消化杂志, 2018, 26(1):18-26.

[7] TACK J, DROSSMAN D A. What's new in rome IV? [J/OL]. Neurogastroenterol Motil, (2017-03-17) [2022-08-06]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28303651/>.

[8] DEVEREUX G, COTTON S, FIELDING S, et al. Effect of theophylline as adjunct to inhaled corticosteroids on exacerbations in patients

with COPD: A randomized clinical trial[J]. JAMA, 2018, 320(15):1548-1559.

[9] HANLON P, NICHOLL B I, JANI B D, et al. Examining patterns of multimorbidity, polypharmacy and risk of adverse drug reactions in chronic obstructive pulmonary disease: A cross-sectional UK Biobank study[J]. BMJ Open, 2018, 8(1):e18404.

[10] 张民,王格,张骅. 慢性阻塞性肺疾病与便秘[J]. 中国老年学杂志, 2016, 36(16):4130-4133.

[11] BUDDEN K F, GELLATLY S L, WOOD D L, et al. Emerging pathogenic links between microbiota and the gut-lung axis[J]. Nat Rev Microbiol, 2017, 15(1):55-63.

[12] 江萍,苏湘芬,关文洁. 急诊慢性阻塞性肺疾病急性期病人便秘的影响因素及护理干预[J]. 全科护理, 2017, 15(8):949-951.

[13] 潘慧,文谦,王成伟,等. 慢性阻塞性肺疾病急性期便秘症状发生及相关性调查[J]. 中国中医急诊, 2014, 24(8):1414-1415.

[14] 张婕,魏文峰,宋丹,等. 基于“肺-肠轴”探讨肠道菌群对肺部疾病的影响[J]. 国际呼吸杂志, 2022, 42(10):795-800.

[15] 叶威,王新华. 从肺肠微生物群变化探讨“肺与大肠相表里”治疗呼吸系统疾病[J]. 浙江中西医结合杂志, 2019, 29(7):592-596.

[16] 包晟川,闫曙光,陈婷,等. 肺肠合治法治疗肺系疾病的研究进展[J]. 中国实验方剂学杂志, 2022, 28(8):116-122.

[17] 吴艳军,王浩彦. 慢性阻塞性肺病患者自主神经功能紊乱的研究进展[J]. 心肺血管病杂志, 2015, 34(4):333-335.

[18] 郝京霞,张英谦,黄波,等. 肺与大肠相表里应用到肺疾病治疗中的理论研究进展[J]. 中华中医药杂志, 2017, 32(4):1688-1690.

[19] 刘访,曹波,李志,等. 基于“肺与大肠相表里”探析“通腑理肺法”对慢性功能性便秘的治疗进展[J]. 世界中医药, 2020, 15(17):2672-2674.

[20] 王键,郜峦,邓勇,等. “肺与大肠相表里”理论历史源流和发展[J]. 中国中医基础医学杂志, 2012, 18(9):932-935.

[21] 王金环,张盼盼,韩晓庆,等. 综合护理干预对老年慢阻肺患者便秘的影响[J]. 国际护理学杂志, 2015(23):3204-3206.

[22] 戚励,杨惠,裴冬梅. 肺康复运动治疗对老年 COPD 稳定期患者肺功能、生活质量及运动耐

- 力的影响[J]. 中国老年学杂志, 2022, 42(12): 2913-2915.
- [23] 王冬冬, 吴相柏. 功能性便秘的诊治进展[J]. 中国全科医学, 2019, 22(24): 3016-3022.
- [24] 黄雪霞. 护理干预在慢阻肺稳定期便秘患者中的有效利用[J/CD]. 实用临床护理学电子杂志, 2019, 4(29): 73-77.
- [25] 方燕龄, 郭月, 宾灶华. 老年 COPD 疾病控制水平与健康信念及健康管理行为关系的研究[J]. 国际护理学杂志, 2018, 37(22): 3093-3096.
- [26] 徐美芳. 综合干预对稳定期 COPD 合并便秘患者生活质量及症状改善的影响[J]. 中华现代护理杂志, 2016, 22(5): 690-694.
- [27] 王海燕, 孙科儿, 徐芳玲. 泻热通肠贴联合常规医护措施干预慢性阻塞性肺疾病急性加重期伴发便秘效果分析[J]. 新中医, 2021, 53(8): 175-178.
- [28] 孟晶晶, 管娟, 袁青, 等. 无烟艾灸配合穴位贴敷改善慢性阻塞性肺疾病急性加重患者便秘的疗效观察[J]. 中西医结合护理(中英文), 2019, 5(10): 56-58.
- [29] 李兴燕. 循经穴位按摩干预痰热壅肺型 AECOPD 患者功能性便秘的疗效观察[D]. 成都: 成都中医药大学, 2020.
- [30] 孟亚慧. 循经穴位按摩对慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者胃肠功能紊乱效果的研究[D]. 南京: 南京中医药大学, 2018.
- [31] 何文芳, 熊淑云, 李观蓝, 等. 四子散热熨治疗痰浊壅肺型慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者的临床效果[J]. 广西医学, 2019, 41(13): 1666-1669.
- [32] 董玉红, 黄雪燕, 俞琦, 等. “肺肠同治”理论下艾盐包热熨在痰浊壅肺型慢性阻塞性肺疾病急性加重期患者中的应用研究[J]. 护理与康复, 2019, 18(5): 1-4.
- [33] 葛凯杰, 孟佳, 吴超, 等. 针刺联合新斯的明足三里穴位注射治疗慢性阻塞性肺疾病急性加重期机械通气并发胃肠功能障碍临床研究[J]. 新中医, 2021, 53(11): 128-131.
- [34] 熊卓吾, 李达, 廖陆雷, 等. 四磨汤加味方联合针刺治疗对 AECOPD 伴 II 型呼吸衰竭无创通气后合并腹胀患者胃肠动力的影响[J]. 现代中西医结合杂志, 2022, 31(5): 639-644.
- [35] 张玉. 肛滴平喘汤治疗老年 COPD 急性发作期(痰瘀阻肺证)患者疗效及对便秘、食少脘痞症状、肺功能和血清细胞因子的影响[J]. 四川中医, 2019, 37(7): 83-86.
- [36] 任建, 敖素华. 承气灌肠液联合无创通气治疗 AECOPD 呼吸衰竭的临床研究[J]. 世界最新医学信息文摘, 2017, 17(增 2): 4-6.

(收稿日期: 2022-08-16 修回日期: 2023-01-18)

(上接第 2117 页)

- PALMER R, VIL LAESCUSA J I, et al. Nuclear and radiological emergencies: Biological effects, countermeasures and biodosimetry[J]. Antioxidants, 2022, 11(6): 1098.
- [22] ŚLOSARCZYK A, KLAPISZEWSKI Ł, BUCHWALD T, et al. Carbon fiber and nickel coated carbon fiber-silica aerogel nanocomposite as low-frequency microwave absorbing materials[J]. Materials, 2020, 13(2): 400.
- [23] LORAT Y, BRUNNER C U, SCHANZ S, et al. Nanoscale analysis of clustered DNA damage after high-LET irradiation by quantitative electron microscopy-the heavy burden to repair[J]. DNA Repair (Amst), 2015, 28: 93-106.
- [24] NIKITAKI Z, PARISSET E, SUDAR D, et al. In situ detection of complex DNA damage using microscopy: A rough road ahead[J]. Cancers, 2020, 12(11): 3288.
- [25] ZUO R, LIU M, WANG Y, et al. BM-MSD-derived exosomes alleviate radiation-induced bone loss by restoring the function of recipient BM-MSCs and activating Wnt/ β -catenin signaling[J]. Stem Cell Res Ther, 2019, 10(1): 30.

(收稿日期: 2023-01-19 修回日期: 2023-04-25)