

• 临床研究 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.10.022

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250821.1128.002\(2025-08-21\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250821.1128.002(2025-08-21))

抗菌光动力疗法联合龈下刮治和根面平整术 治疗慢性牙周炎的疗效对比^{*}

杨鹏飞,熊成立,刘承荣[△]

(丰都县人民医院口腔科,重庆 408200)

[摘要] **目的** 评估抗菌光动力疗法(aPDT)联合龈下刮治和根面平整术(SRP)对慢性牙周炎的疗效。**方法** 选取 2023 年 8 月至 2024 年 4 月该院口腔科收治的 198 例慢性牙周炎患者作为研究对象,采用随机区组设计法,将患者分为对照组($n=98$)和试验组($n=98$)。对照组给予口腔宣教与 SRP 治疗,试验组给予口腔宣教、aPDT+SRP 治疗。比较治疗前及治疗 6 周后患者牙周袋探诊深度(PD)、探诊出血(BOP)阳性率、出血指数(BI)、菌斑指数(PLI),同时检测龈沟液中肿瘤坏死因子- α (TNF- α)、IL-6 水平。**结果** 治疗后,试验组 PLI 为 0 级、1 级的患者占比较对照组更高($\chi^2=30.640, P<0.001$);试验组 PD 低于对照组($t=9.420, P<0.001$);试验组 AL 低于对照组($t=4.495, P<0.001$);试验组 BI 指数中 0 级、1 级的患者占比较对照组更高($\chi^2=48.839, P<0.001$);试验组 IL-6、TNF- α 水平均低于对照组($P<0.001$)。**结论** SRP+aPDT 疗法不仅能有效改善慢性牙周炎患者的牙周临床指标,还能明显降低其局部炎症因子水平,值得推广应用。

[关键词] 慢性牙周炎;光动力学治疗;龈下刮治;根面平整术;疗效

[中图法分类号] R781.42

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2025)10-2366-05

Comparison of the therapeutic effects of antimicrobial photodynamic therapy combined with subgingival scaling and root planing in the treatment of chronic periodontitis^{*}

YANG Pengfei, XIONG Chengli, LIU Chengrong[△]

(Department of Stomatology, Fengdu County People's Hospital, Chongqing 408200, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the therapeutic effect of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) combined with subgingival scaling and root planing (SRP) on chronic periodontitis. **Methods** A total of 198 patients with chronic periodontitis who were diagnosed and treated in the Department of Stomatology of the hospital from August 2023 to April 2024 were selected as the study subjects. A randomized block design was used to divide the patients into a control group ($n=98$) and an experimental group ($n=98$). The control group received oral education and SRP treatment, while the experimental group received oral education and aPDT+SRP treatment. The depth of periodontal pocket probing (PD), positive rate of bleeding probing (BOP), bleeding index (BI), and plaque index (PLI) were compared of patients before and after 6 weeks of treatment, and the levels of tumor necrosis factor- α (TNF- α) and IL-6 in gingival crevicular fluid were measured. **Results** After treatment, the proportion of patients with PLI grade 0 and 1 in the experimental group was higher than the control group ($\chi^2=30.640, P<0.001$). The PD of the experimental group was lower than that of the control group ($t=9.420, P<0.001$). The AL of the experimental group was lower than that of the control group ($t=4.495, P<0.001$). The proportion of patients with grade 0 and grade 1 of BI index in the experimental group was higher ($\chi^2=48.839, P<0.001$). The average levels of IL-6 and TNF- α in the experimental group were lower than those in the control group ($P<0.001$). **Conclusion** SRP+aPDT therapy not only effectively improves periodontal clinical indicators in patients with chronic periodontitis, but also significantly reduces the levels of local inflammatory factors, which is worthy of promotion and application.

[Key words] chronic periodontitis; antimicrobial photodynamic therapy; subgingival scaling treatment; root planing technique; efficacy

^{*} 基金项目:重庆市卫生健康委医学科科研项目(2024WSJK045)。[△] 通信作者,E-mail:327200856@qq.com。

慢性牙周炎由病原微生物及其释放的炎症物质引发牙周组织发生炎症反应,并导致机体发生免疫反应,从而破坏牙周膜、牙槽骨等牙齿结构,是导致成年人牙齿附着丧失(attachment loss,AL)的主要原因之一^[1-4],最终导致牙齿松动、缺失。全球 20%~50% 的人口受到牙周病的影响^[5-7],是影响广泛的重要临床及公共卫生问题^[8-9]。牙周病还与心血管疾病、糖尿病、呼吸系统疾病、慢性肾病、代谢性疾病及不良妊娠结局等多种全身性疾病密切相关^[3,10-11]。治疗慢性牙周炎的核心目标是去除牙石和菌斑生物膜,减少致病菌在牙周组织上的附着,减轻炎症,恢复生物相容性的牙根面,促进组织愈合及再附着,形成有利于维护口腔卫生的结构。龈下刮治术及根面平整术(scaling and root planing,SRP)是治疗牙周病的最基本且最有效的方法。SRP 在临床上应用广泛,而且效果明显,但其局限性也逐渐显现,特别是在深牙周袋和复杂的牙根解剖结构中,SRP 常难以彻底清除所有致病微生物及菌斑^[12]。因此,SRP 后需要定期进行牙周维护及结合其他辅助治疗方法。抗生素治疗因其可能导致患者产生抗药性和不良反应,限制了临床的应用^[13]。抗菌光动力疗法(antimicrobial photodynamic therapy,aPDT)是一种新型抗菌技术,利用光敏物质与光化学作用达到灭菌目的^[14-16]。这种方法在牙周病治疗中表现出损伤小、安全性高、效果佳,并促进愈合,逐渐成为牙周病治疗的辅助手段。虽然与传统的 SRP 相比,结合 aPDT 的治疗能提供更好的附着水平和探诊袋深度牙周探诊深度(probing depth,PD)。然而,aPDT 结合传统治疗效果尚不稳定,还需要更多的临床证据支持该治疗方式的有效性。本研究旨在进一步明确 aPDT 在慢性牙周炎治疗中的作用,为临床治疗提供更多依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 8 月至 2024 年 4 月于本院口腔科就诊的 196 例慢性牙周炎患者为研究对象。采用随机区组设计法,将患者分为对照组($n=98$)和试验组($n=98$)。纳入标准:(1)年龄 18~90 岁;(2)符合《牙周病学》中慢性牙周炎诊断标准^[17]。排除标准:(1)全身系统性疾病如糖尿病,严重心脏病难以耐受治疗者;(2)处于哺乳期的女性;(3)口内存在急性感染者,如智齿冠周炎、急性坏死性溃疡性龈炎、急性牙周脓肿等;(4)研究前 1 个月曾使用抗生素;(5)研究前 6 个月曾进行牙周系统治疗;(6)对光和光敏剂过敏;(7)研究前 1 个月曾服用过糖皮质激素或非甾体抗炎药。对照组男 43 例,女 55 例;年龄(45.46 ± 14.21)岁;试验组男 44 例,女 54 例;年龄(46.59 ± 13.23)岁,两组研究对象一般资料比较,差异无统计学意义

($P>0.05$),具有可比性。本研究已通过本院伦理委员会批准(审批号:2023SC0915-92),患者均签署知情同意书。

1.2 方法

对照组采用 SRP 法进行治疗:术前使用 3% 双氧水含漱 1 min,碘伏棉棒消毒治疗区域,采用 1.5% 盐酸甲哌卡因 1.8 mL 半口浸润麻醉。先用超声刮治器(HU-Friedy,美国)从冠向根进行龈下刮治,去除大块牙石并初步根面平整,再用 Gracey 手动刮治器精细清除龈下牙石和肉芽组织,针对根分叉及凹陷部位进行彻底清洁。完成标准为龈下牙石去尽,根面光滑、无粗糙感。试验组采用 SRP+aPDT 法进行治疗:在上述对照组治疗基础上增加 aPDT,即采用派威®光动力系统进行治疗,激光波长 675 nm,功率 100~140 mW。选择 PD ≥ 7 mm 的位点,注射亚甲基蓝溶液至溢出,保留 3 min 后照射。非磨牙区每牙 4 个位点(唇/颊侧近中、远中;舌/腭侧近中、远中),磨牙区为 6 个位点[颊/舌(腭)近中、中央、远中],每点照射 60 s。两组均在治疗前 2~3 周接受超声龈上洁治与统一口腔健康宣教,内容包括:强调良好口腔卫生对治疗与预后的重要性,指导巴氏刷牙法、牙线、牙缝刷与冲牙器的正确使用,并结合个体化维护建议(如正畸、义齿患者)。复诊(第 3、6 周)期间持续提供口腔卫生指导,必要时辅以模型、视频、口内演示等。所有操作由同一医师完成,确保治疗一致性。

1.3 观察指标

主要疗效指标:治疗前与治疗 6 周后牙周状态指标,包括 PD、AL。测量方式为分别使用塑料牙周探针分别对每颗受试牙的唇(颊)、舌(腭)侧的近中、中央、远中共 6 个位点进行检查,探诊力量为 0.25 N,并由同一位资深的口腔科专业医师进行采集,且保证两次采集位点和基线位点一致,该医师对患者治疗策略设盲。次要疗效指标:3 个牙周状态指标,即探诊出血(bleeding on probing,BOP)阳性率,出血指数(bleeding index,BI)和菌斑指数(plaque index,PLI)。BI 分级标准如下:0 级为牙龈健康,探诊无出血;1 级为牙龈颜色有炎症性改变,探诊不出血;2 级为探诊后有点状出血;3 级为探诊后出血,出血沿着牙龈缘扩散;4 级为探诊出血,出血充满龈沟并溢出龈沟;5 级为有自发出血。PLI 分级标准如下:0 级为无菌斑;1 级为视诊无菌斑,但用探针尖轻划修复体表面可发现菌斑;2 级为龈缘附近肉眼可见菌斑;3 级为大量软垢积聚。分别使用塑料牙周探针分别对每颗受试牙的唇(颊)、舌(腭)侧的近中、中央、远中共 6 个位点进行检查(由同一位资深的口腔科专业医师进行采集,且保证两次采集位点和基线位点一致,该医师对患者治疗策略设盲)。结局指标包括治疗前与治疗 6 周后龈沟液内炎

症因子指标肿瘤坏死因子- α (tumor necrosis factor- α , TNF- α)、IL-6 水平,均采用 ELISA 进行检测。

1.4 统计学处理

采用 R4.3.2 软件进行数据处理和分析。正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验;计数资料采用例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 试验组与对照组治疗前相关指标的比较

结果显示,两组治疗前 PD、AL、BOP、BI、PLI、IL-6、TNF- α 水平组间比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 试验组与对照组治疗前相关指标比较				
项目	对照组 ($n=98$)	试验组 ($n=98$)	t/χ^2	P
PD($\bar{x} \pm s$, mm)	5.30 $\pm$ 1.08	5.43 $\pm$ 1.05	-0.882	0.379
AL($\bar{x} \pm s$, mm)	4.08 $\pm$ 1.17	4.39 $\pm$ 1.05	-1.941	0.054
BOP 阳性[$n(\%)$]	39(39.8)	33(33.7)	0.790	0.374
BI[$n(\%)$]			2.323	0.508
0 级	0	0		
1 级	36(36.7)	31(31.6)		
2 级	12(12.2)	19(19.4)		
3 级	17(17.3)	19(19.4)		
4 级	33(33.7)	29(29.6)		
5 级	0	0		
PLI[$n(\%)$]			1.721	0.423
0 级	0	0		
1 级	38(38.8)	47(48.0)		
2 级	27(27.5)	22(22.4)		
3 级	33(33.7)	29(29.6)		
IL-6($\bar{x} \pm s$, ng/L)	29.01 $\pm$ 8.93	26.93 $\pm$ 9.08	1.614	0.108
TNF- α ($\bar{x} \pm s$, ng/L)	28.93 $\pm$ 8.44	26.83 $\pm$ 9.28	1.657	0.099

2.2 试验组与对照组治疗后疗效比较

结果显示,试验组治疗后 PLI 为 0 级、1 级的患者占比更高($P < 0.001$);试验组 PD、AL 低于对照组($P < 0.001$);试验组 BI 为 0 级、1 级的患者占比更高($P < 0.001$);试验组 IL-6、TNF- α 水平均低于对照组($P < 0.001$),见表 2。

表 2 试验组与对照组治疗后相关指标比较				
项目	对照组 ($n=98$)	试验组 ($n=98$)	t/χ^2	P
PD($\bar{x} \pm s$, mm)	4.60 $\pm$ 0.72	3.82 $\pm$ 0.40	9.420	<0.001
AL($\bar{x} \pm s$, mm)	3.40 $\pm$ 0.72	2.91 $\pm$ 0.83	4.495	<0.001

续表 2 试验组与对照组结局指标比较				
项目	对照组 ($n=98$)	试验组 ($n=98$)	t/χ^2	P
BOP 阳性[$n(\%)$]	36(36.7)	31(31.6)	0.567	0.451
BI[$n(\%)$]			48.839	<0.001
0 级	0	18(18.4)		
1 级	0	18(18.4)		
2 级	31(31.6)	11(11.2)		
3 级	18(18.4)	15(15.3)		
4 级	26(26.5)	15(15.3)		
5 级	23(23.5)	21(21.4)		
PLI[$n(\%)$]			30.640	<0.001
0 级	0	26(26.5)		
1 级	38(38.8)	30(30.6)		
2 级	27(27.6)	22(22.4)		
3 级	33(33.7)	20(20.4)		
IL-6($\bar{x} \pm s$, ng/L)	22.92 $\pm$ 5.01	19.85 $\pm$ 4.83	4.360	<0.001
TNF- α ($\bar{x} \pm s$, ng/L)	24.82 $\pm$ 5.01	21.51 $\pm$ 5.83	4.263	<0.001

3 讨 论

慢性牙周炎常规治疗除了龈上洁治,还包括标准化 SRP,以及口腔卫生宣教及牙周维护。虽然对大部分年轻患者有较好的效果,但对于口腔卫生依从性不佳,伴有糖尿病等系统性疾病患者,往往长期效果不理想。有学者探索联合使用激光、米诺环素缓释药剂治疗等,都取得一定的疗效^[18-19]。aPDT 是将特定波长的激光,光敏剂和氧分子结合的物理治疗,目前在原位癌、口腔黏膜病及牙周病等各种疾病中有明显的治疗效果。在牙周病的治疗中,aPDT 是利用光源激活光敏剂发挥治疗效果,光敏剂被牙周病相关的病原体吸收后产生活性氧,活性氧具有高度的氧化性,能够迅速破坏牙周袋内的病原微生物细胞的膜结构、蛋白质和 DNA,导致病原微生物死亡^[20-21]。同时,活性氧的生成还能刺激牙周局部的血液循环和细胞代谢,从而促进受损牙周组织的修复和愈合,同时避免损伤健康组织。aPDT 具有以下特点:(1)靶向性,仅作用于光照区域,对深层牙周袋内的细菌有效;(2)无需手术切开,减少出血和术后疼痛;(3)安全性高,无全身毒性,不破坏口腔正常菌群平衡,且不易产生耐药性。(4)舒适度高,单次操作仅需几分钟,术后反应轻、愈合快。

有研究显示,aPDT 可帮助减少牙周袋中的炎症水平,从而有效改善 PD 和 AL^[15]。本研究结果显示,试验组治疗后 PLI 为 0 级、1 级的患者占比更高;试验组 PD、AL 低于对照组,这与范雅丹等^[22]、杨娟霞^[23]的研究结论相似。

牙菌斑中细菌在感染牙周组织后可刺激巨噬细胞和 T 细胞释放炎症因子,从而产生全身的炎症反应。在慢性牙周炎的发生、发展过程中,有研究证实 IL-6 和 TNF- α 不仅促进了炎症的发生和发展,还参与组织损伤和修复过程^[24-25]。IL-6 是一种具有广泛效应的细胞因子,可与游离 IL-6 受体结合,与糖蛋白共同参与促进牙龈及牙周膜中成纤维细胞分泌基质金属蛋白酶,诱导牙周胶原纤维降解破坏等,进一步导致牙槽骨破坏,能有效反映机体的炎症强度;当机体发生各种感染时,包括牙周袋的感染时水平呈上升趋势。另一方面,IL-6 也可以影响骨代谢,参与牙周组织的修复过程。TNF- α 属于核心促炎症因子,主要由巨噬细胞产生,是一种多效细胞分子,参与正常炎症反应和免疫反应,可以协同调节其他细胞因子的产生、细胞存活和死亡,在炎症、细胞凋亡和免疫系统发育中起着关键作用,同时可以直接影响骨吸收过程,促进牙槽骨的破坏。

本研究结果显示,试验组治疗后 IL-6、TNF- α 水平平均低于对照组($P < 0.001$),提示慢性牙周炎患者可以通过 aPDT 改善和缓解口腔局部炎症状态,从而降低牙周炎相关的全身性系统疾病的发生、延缓相关疾病的发展。

综上所述,本研究表明,SRP+aPDT 疗法不仅能有效改善慢性牙周炎患者的治疗效果,还能明显降低其局部炎症因子水平,说明该疗法在控制牙周组织局部感染和调节系统性炎症方面具有重要价值,为慢性牙周炎的临床管理提供了策略。

参考文献

- [1] KÖNÖNEN E, GURSOY M, GURSOY U K. Periodontitis: a multifaceted disease of tooth-supporting tissues[J]. J Clin Med, 2019, 8(8): 1135.
- [2] KINANE D F, STATHOPOULOU P G, PAPANOU P N. Periodontal diseases[J]. Nat Rev Dis Primers, 2017, 3(1): 1-14.
- [3] LANG N P, BARTOLD P M. Periodontal health[J]. J Periodontol, 2018, 89(Suppl. 1): 9-16.
- [4] VACHHANI K S, BHAVSAR N V. Effects of non-surgical periodontal therapy on serum inflammatory factor high-sensitive C-reactive protein, periodontal parameters and renal biomarkers in patients with chronic periodontitis and chronic kidney disease[J]. Dent Med Probl, 2021, 58(4): 489-498.
- [5] JIAO J, JING W, SI Y, et al. The prevalence and severity of periodontal disease in Mainland China: data from the Fourth National Oral Health Survey (2015-2016)[J]. J Clin Periodontol, 2021, 48(2): 168-179.
- [6] WU L, ZHANG S Q, ZHAO L, et al. Global, regional, and national burden of periodontitis from 1990 to 2019: results from the Global Burden of Disease study 2019[J]. J Periodontol, 2022, 93(10): 1445-1454.
- [7] ZHENG M, WANG C, ALI A, et al. Prevalence of periodontitis in people clinically diagnosed with diabetes mellitus: a meta-analysis of epidemiologic studies[J]. Acta Diabetol, 2021, 58(10): 1307-1327.
- [8] MARTÍNEZ-GARCÍA M, HERNÁNDEZ-LEMUS E. Periodontal inflammation and systemic diseases: an overview[J]. Front Physiol, 2021, 12: 709438.
- [9] LOOS B G, VAN DYKE T E. The role of inflammation and genetics in periodontal disease[J]. Periodontol 2000, 2020, 83(1): 26-39.
- [10] ARIGBEDE A O, BABATOPE B O, BAMIDELE M K. Periodontitis and systemic diseases: a literature review[J]. J Indian Soc Periodontol, 2012, 16(4): 487-491.
- [11] MIZGALSKA D, MALICKI S, GOLDA A, et al. Screening and characterization of aptamers recognizing the periodontal pathogen Tannerella forsythia[J]. FEBS Open Bio, 2024, 14(3): 498-504.
- [12] LI J, ZHAO G, ZHANG H M, et al. Probiotic adjuvant treatment in combination with scaling and root planing in chronic periodontitis: a systematic review and meta-analysis[J]. Benef Microbes, 2023, 14(2): 95-108.
- [13] OZA R R, SHARMA V, MULTANI P, et al. Comparing the effectiveness of ultrasonic instruments over manual instruments for scaling and root planing in patients with chronic periodontitis: a systematic review and meta-analysis[J]. Cureus, 2022, 4(11): e31463.
- [14] MORO M G, DE CARVALHO V F, GODOY-MIRANDA B A, et al. Efficacy of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) for nonsurgical treatment of periodontal disease: a systematic review[J]. Lasers Med Sci, 2021, 36(8): 1573-1590.

[15] CLÁUDIO M M, NUERNBERG M A A, RODRIGUES J V S, et al. Effects of multiple sessions of antimicrobial photodynamic therapy (aPDT) in the treatment of periodontitis in patients with uncompensated type 2 diabetes; a randomized controlled clinical study[J]. *Photodiagnosis Photodyn Ther*, 2021, 35: 102451.

[16] SALVI G E, STÄHLI A, SCHMIDT J C, et al. Adjunctive laser or antimicrobial photodynamic therapy to non-surgical mechanical instrumentation in patients with untreated periodontitis: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Clin Periodontol*, 2020, 47(Suppl. 22): 176-198.

[17] 孟焕新. 牙周病学[M]. 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2020: 311.

[18] LOW S B, MOTT A. Laser technology to manage periodontal disease: a valid conception? [J]. *J Evid Based Dent Pract*, 2014, 14(Suppl. 1): 154-159.

[19] GIANNELLI M, BANI D, VITI C, et al. Comparative evaluation of the effects of different photoablative laser irradiation protocols on the gingiva of periodontopathic patients[J]. *Photomed Laser Surg*, 2012, 30(4): 222-230.

[20] BRAHAM P, HERRON C, STREET C, et al.

Antimicrobial photodynamic therapy may promote periodontal healing through multiple mechanisms[J]. *J Periodontol*, 2009, 80(11): 1790-1798.

[21] MOSADDAD S A, MAHOOTCHI P, RASTEGAR Z, et al. Photodynamic therapy in periodontitis: a narrative review[J]. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 2024, 40(1): e12946.

[22] 范雅丹, 束蓉, 程岚, 等. 光动力疗法辅助治疗Ⅲ期、Ⅳ期牙周炎的临床效果评价[J]. *上海口腔医学*, 2022, 31(5): 501-506.

[23] 杨娟霞. 超声龈下刮治联合复方氯己定治疗牙周炎的效果[J]. *实用临床医学杂志*, 2020, 24(23): 15-17.

[24] 苏娟娟, 张文玲, 朱永翠. 龈沟液 IL-6 和 TNF- α 与孕妇牙周炎严重程度的关系及机制分析[J]. *实用口腔医学杂志*, 2023, 39(2): 228-231.

[25] KONOPKA T, ZAKRZEWSKA A. Periodontitis and risk for preeclampsia: a systematic review[J]. *Ginek Pol*, 2020, 91(3): 158-164.

(收稿日期: 2025-02-28 修回日期: 2025-07-18)
(编辑: 管佩钰)

(上接第 2365 页)

[27] 余云, 王哲芸, 王岩. 心脏外科手术后膈肌功能障碍的研究进展[J]. *临床与病理杂志*, 2023, 43(2): 408-415.

[28] 尚基高, 张燕搏. 成人心脏术后膈肌功能紊乱的研究进展[J]. *中国分子心脏病学杂志*, 2023, 23(3): 5450-5455.

[29] MORRIS I S, DRES M, GOLIGHER E C. Phrenic nerve stimulation to protect the diaphragm, lung, and brain during mechanical ventilation[J]. *Intensive Care Med*, 2022, 48(10): 1299-1301.

[30] PEREZ I A, KUN S, KEENS T G. Diaphragm pacing by phrenic nerve stimulation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2016, 193(8): 13-14.

[31] 王美娜, 顾岩. 体外膈肌电刺激在呼吸衰竭治疗中的研究进展[J]. *内蒙古医科大学学报*, 2023, 45(3): 314-319.

[32] KEOGH C, SAAVEDRA F, DUBO S, et al. Non-invasive phrenic nerve stimulation to avoid ventilator-induced diaphragm dysfunction in critical care[J]. *Artif Organs*, 2022, 46(10):

1988-1997.

[33] CHEN X X, LI C Z, ZENG L J, et al. Comparative efficacy of different combinations of acapella, active cycle of breathing technique, and external diaphragmatic pacing in perioperative patients with lung cancer: a randomised controlled trial[J]. *BMC Cancer*, 2023, 23(1): 282.

[34] PANELLI A, GRIMM A M, KRAUSE S, et al. Noninvasive electromagnetic phrenic nerve stimulation in critically ill patients: a feasibility study[J]. *Chest*, 2024, 166(3): 502-510.

[35] OLIMPIO-JUNIOR H, CAMILO G B, MARQUES J A, et al. Effects of transcutaneous electrical diaphragmatic stimulation in critically ill elderly patients: a randomized controlled trial[J]. *Physiother Theory Pract*, 2024, 40(12): 2754-2763.

(收稿日期: 2025-02-19 修回日期: 2025-07-23)
(编辑: 张芃捷)