

· 临床研究 ·

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.10.021

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250814.1124.006\(2025-08-14\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250814.1124.006(2025-08-14))

体外膈肌起搏器在 Stanford A 型主动脉夹层术后患者脱机中的应用研究^{*}

谢志扬¹, 张如龙², 王 珏³, 方振红¹, 涂文怡¹, 李文玉^{1△}

(温州医科大学附属第一医院:1. 心脏重症监护室;2. 康复科;3. 心脏外科, 浙江温州 325000)

[摘要] **目的** 研究体外膈肌起搏器(EDP)对急性 Stanford A 型主动脉夹层(ATAAD)术后机械通气患者脱机的应用效果。**方法** 选取 2023 年 10 月至 2024 年 10 月在该院心脏重症监护室(CCU)接受 ATAAD 手术且需机械通气的 80 例患者作为研究对象,采用随机数字表法将其分为对照组和干预组,每组 40 例。两组患者术后均接受常规临床药物治疗、机械通气支持及康复锻炼。干预组在此基础上加用 EDP 治疗。比较两组患者临床资料、机械通气时间、脱机结局、氧合指数、潮气量和膈肌功能参数变化情况。**结果** 与对照组比较,干预组机械通气时间更短[77.00(59.00,133.63)h *vs.* 54.50(49.00,105.25)h],脱机成功率(72.5% *vs.* 90.0%)、氧合指数[202.90(178.63,240.05)mmHg *vs.* 236.50(196.00,293.75)mmHg]、潮气量[(496.00±111.95)mL *vs.* (563.23±133.98)mL]更高,差异有统计学意义($P<0.05$)。与对照组比较,干预组左右侧膈肌移动度[DE,11.90(8.50,16.50)mm *vs.* 15.30(12.20,19.80)mm;12.60(10.80,14.90)mm *vs.* 14.70(11.43,19.20)mm]和左、右侧膈肌增厚分数[DTF,21.75%(17.53%,27.13%) *vs.* 26.30%(21.10%,32.40%);24.00%(17.68%,29.35%) *vs.* 28.30%(22.43%,33.40%)]更高,差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** EDP 可增强患者膈肌功能,缩短机械通气时间,提高脱机成功率,改善 ATAAD 术后机械通气患者的脱机结局。

[关键词] 体外膈肌起搏;主动脉夹层;机械通气;膈肌功能;脱机

[中图法分类号] R493

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2025)10-2361-05

Study on the application of external diaphragm pacemaker in weaning patients after stanford type A aortic dissection surgery^{*}

XIE Zhiyang¹, ZHANG Rulong², WANG Jue³, FANG Zhenhong¹, TU Wenyi¹, LI Wenyu^{1△}

(1. Cardiac Intensive Care Unit; 2. Department of Rehabilitation; 3. Cardiac Surgery, The First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou, Zhejiang 325000, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the effect of extracorporeal diaphragmatic pacing (EDP) on weaning patients undergoing mechanical ventilation after acute Stanford type A aortic dissection (ATAAD) surgery. **Methods** A total of 80 patients who underwent ATAAD surgery and required mechanical ventilation in the cardiac intensive care unit (CCU) of our hospital from October 2023 to October 2024 were selected as the study subjects. They were randomly divided into a control group and an intervention group using a random number table method, with 40 patients in each group. Both groups of patients received conventional clinical drug therapy, mechanical ventilation support, and rehabilitation exercises after surgery. The intervention group additionally underwent EDP therapy on this basis. The clinical data, mechanical ventilation time, weaning outcomes, oxygenation index, tidal volume, and changes in diaphragm function parameters were compared between two groups of patients. **Results** Compared with the control group, the intervention group had a shorter mechanical ventilation time [77.00 (59.00, 133.63) h *vs.* 54.50 (49.00, 105.25) h], offline success rate (72.5% *vs.* 90.0%), oxygenation index [202.90 (178.63, 240.05) mmHg *vs.* 236.50 (196.00, 293.75) mmHg], higher tidal volume [(496.00±111.95) mL *vs.* (563.23±133.98) mL], with a statistically significant difference ($P<0.05$). Compared with the control group, diaphragmatic excursion (DE) of both sides [11.90

^{*} 基金项目:浙江省温州市基础性公益科研项目(Y20220600)。 [△] 通信作者, E-mail:liwenyu@wmu.edu.cn。

(8.50,16.50) mm *vs.* 15.30(12.20,19.80)mm;12.60(10.80,14.90)mm *vs.* 14.70 (11.43,19.20) mm] and diaphragmatic thickening fraction (DTF) of left and right side [21.75% (17.53%,27.13%) *vs.* 26.30%(21.10%,32.40%);24.00%(17.68%,29.35%) *vs.* 28.30% (22.43%,33.40%)] of the intervention group were higher,and the differences were statistically significant($P<0.05$). **Conclusion** EDP can enhance the function of the diaphragm in patients,shorten the duration of mechanical ventilation,improve the success rate of weaning,and improve the weaning outcomes of mechanically ventilated patients after ATAAD surgery.

[**Key words**] extracorporeal diaphragmatic pacing;aortic dissection;mechanical ventilation;diaphragmatic function;offline

膈肌是吸气过程的关键结构,其功能正常是实现高效呼吸的基础条件^[1-2]。机械通气会诱发膈肌功能障碍^[3],表现为膈肌纤维萎缩无力^[4-5]。这种功能障碍会随着呼吸机使用时间延长而加剧,进而增加患者脱机难度^[6]。体外膈神经刺激技术是通过经皮放置电极于膈神经或其周围区域,触发膈肌收缩^[7]。该技术为机械通气患者提供了一种新的治疗选择,不仅能促进多器官功能恢复,预防肺不张,维持肺容量,减轻肺部应力和损伤,提高通气效率,还能恢复膈肌收缩产生的胸腹压差,从而有助于缓解正压通气可能诱发的心输出量降低^[8]。膈肌功能障碍是心脏手术后常见并发症^[9-11],其发生与术中低温体外循环及手术机械损伤相关^[12],可使患者脱机延迟^[13]。急性 Stanford A 型主动脉夹层(acute Stanford type A aortic dissection,ATAAD)病情凶险,需紧急外科手术干预^[14]。与其他心脏手术相比,ATAAD 患者的手术体外循环时间通常更长,疾病本身引发的炎症反应更为剧烈,常伴随低氧血症等并发症。这些因素共同导致 ATAAD 术后患者脱机难度高于其他心脏手术患者^[15]。目前,关于体外膈肌起搏器(external dia-

phragm pacemaker,EDP)对 ATAAD 术后机械通气患者脱机结局影响的报道极为有限,本研究旨在深入探讨 EDP 对 ATAAD 术后机械通气患者脱机结局的影响,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 10 月至 2024 年 10 月在本院心脏重症监护室(cardiac intensive care unit,CCU)接受 ATAAD 手术且需机械通气的 80 例患者作为研究对象,采用随机数字表法将其分为对照组和干预组,每组 40 例。两组患者一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),见表 1。纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁且机械通气时间 ≥ 48 h;(2)意识清醒且血流动力学稳定;(3)可耐受 EDP 治疗;(4)经主治医师评估符合脱机条件。排除标准:(1)存在 EDP 治疗禁忌证(如气胸、心脏起搏器置入术后);(2)血流动力学极不稳定;(3)合并精神疾病、谵妄、躁动或无法配合治疗沟通;(4)存在膈肌损伤或功能障碍;(5)罹患神经肌肉疾病或炎症性肌病。本研究已通过本院医学伦理委员会批准(审批号:KY2023-246),患者均知情同意。

表 1 两组一般资料比较

项目	对照组($n=40$)	干预组($n=40$)	$\chi^2/t/Z$	P
男/女(n/n)	31/9	33/7	0.313	0.576
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	52.10 $\pm$ 13.51	50.08 $\pm$ 9.98	0.762	0.448
BMI[$M(Q_1,Q_3)$,kg/m ²]	24.20(23.03,26.28)	24.40(22.65,25.55)	-0.058	0.954
左心室射血分数[$M(Q_1,Q_3)$,%]	63.00(59.00,66.35)	62.50(59.43,65.20)	-0.443	0.658
体外循环时间($\bar{x}\pm s$,min)	307.48 $\pm$ 61.65	277.28 $\pm$ 76.62	1.942	0.056
手术时间($\bar{x}\pm s$,min)	596.53 $\pm$ 115.08	546.38 $\pm$ 115.69	1.944	0.056
高血压[n (%)]	33(82.5)	33(82.5)	<0.001	1.000
糖尿病[n (%)]	2(5.0)	4(10.0)		0.675
乳酸[$M(Q_1,Q_3)$,mmol/L]	1.10(0.83,1.75)	1.45(0.90,2.25)	-1.441	0.150
Hb[$M(Q_1,Q_3)$,g/L]	86.50(77.25,98.25)	94.00(82.50,107.25)	-1.800	0.072
PCT[$M(Q_1,Q_3)$,ng/mL]	0.65(0.22,1.42)	0.59(0.35,1.18)	-0.221	0.825

1.2 方法

1.2.1 治疗方法

两组患者术后均接受常规临床药物治疗、机械通气支持及康复锻炼。干预组在此基础上加用 EDP 治

疗。本研究使用的EDP型号为HLO-GJ13A(广州雪利昂生物科技有限公司)。患者取仰卧位,对于清醒患者,详细解释仪器使用方法及作用。使用75%乙醇清洁患者局部皮肤,待其干燥。起搏器电极片置于胸锁乳突肌外缘下1/3处,辅助电极片贴于第2肋间与锁骨中线交点处。连接导线,开启设备。设置与调节参数,刺激频率设定为40 Hz,起搏次数设定为10次/min,刺激强度从低水平开始逐步上调,在患者可耐受范围内,适当增加强度以优化疗效。治疗时间为每次30 min,2次/d。

1.2.2 观察指标

(1)临床资料:收集两组患者的性别、年龄、BMI、左心室射血分数、体外循环时间、手术时间、高血压史、糖尿病史、血乳酸水平、Hb及降钙素原(procalcitonin,PCT)水平。(2)机械通气时间:从手术麻醉插管至成功脱机的时间间隔。(3)脱机结局:经医生评估符合脱机条件后,脱机后24 h内未再次插管,且无需无创呼吸机辅助通气为脱机成功;脱机后24 h内死亡、再次插管或需无创呼吸机支持为脱机失败。(4)氧合指数:脱机前采用床旁血气分析仪(丹麦雷度ABL90FLEX公司)检测PaO₂,结合呼吸机给氧浓度(fraction of inspired oxygen,FiO₂),计算氧合指数。(5)潮气量:脱机前20 min患者平静呼吸状态下,连续记录呼吸机潮气量5次,取平均值。(6)膈肌功能参数:经医生评估确认脱机条件后,由具备资质的医护人员于脱机前20 min,采用LOGIQ E超声仪(美国GE公司)测量。膈肌移动度(diaphragmatic excursion,DE)超声评估:凸阵探头置于锁骨中线/腋前线肋弓下缘,显示肝脾界面定位膈肌。M型超声测量平静呼吸时膈肌最大位移距离,连续测量3次后取平均值,见图1。膈肌增厚分数(diaphragmatic thickening fraction,DTF):线阵探头垂直于腋中线/腋前线第8~10肋间,定位胸膜线-腹膜线间的膈肌。M型超声测量呼气末与吸气末膈肌厚度,DTF=(吸气末膈肌厚度-呼气末膈肌厚度)/呼气末膈肌厚度×100%,连续3次取平均值,见图2。

1.3 统计学处理

采用SPSS26.0软件进行数据处理。符合正态分布和方差齐性检验的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验。不符合正态分布和方差齐性的计量资料以 $M(Q_1,Q_3)$ 表示,组间比较采用秩和检验。计数资料以例数或百分比表示,组间比较采用 χ^2 检验或Fisher确切检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

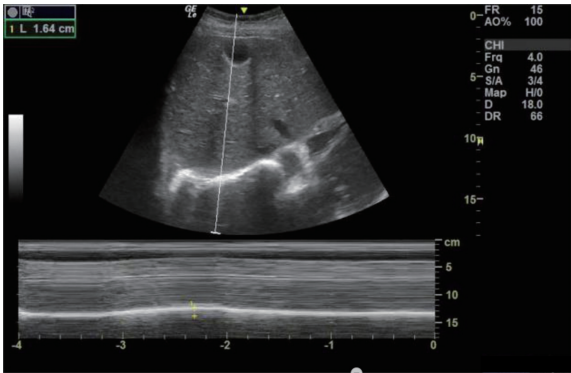


图1 超声检查测量DE

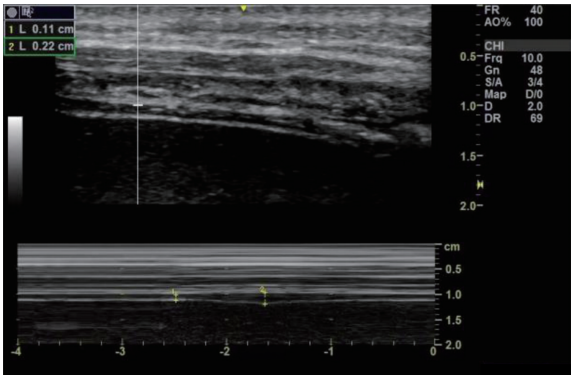


图2 超声检查测量DTF

2 结果

2.1 两组患者机械通气时间、脱机成功率、氧合指数和潮气量比较

干预组机械通气时间短于对照组($P<0.05$);干预组脱机成功率、氧合指数、潮气量高于对照组($P<0.05$),见表2。

2.2 两组患者DE和DTF比较

干预组左、右侧DE和DTF均高于对照组($P<0.05$),见表3。

表2 两组机械通气时间、脱机成功率、氧合指数和潮气量比较

项目	对照组($n=40$)	干预组($n=40$)	$Z/\chi^2/t$	P
机械通气时间[$M(Q_1,Q_3)$,h]	77.00(59.00,133.63)	54.50(49.00,105.25)	-2.427	0.015
脱机成功/失败情况[$n(\%)$]			4.021	0.045
成功	29(72.5)	36(90.0)		
失败	11(27.5)	4(10.0)		
氧合指数[$M(Q_1,Q_3)$,mmHg]	202.90(178.63,240.05)	236.50(196.00,293.75)	-2.314	0.021
潮气量($\bar{x}\pm s$,mL)	496.00±111.95	563.23±133.98	-2.435	0.017

表 3 两组 DE 和 DTF 比较[M(Q₁,Q₃)]

项目	对照组(n=40)	干预组(n=40)	Z	P
左侧 DE(mm)	11.90(8.50,16.50)	15.30(12.20,19.80)	-2.604	0.009
右侧 DE(mm)	12.60(10.80,14.90)	14.70(11.43,19.20)	-2.031	0.042
左侧 DTF(%)	21.75(17.53,27.13)	26.30(21.10,32.40)	-2.002	0.045
右侧 DTF(%)	24.00(17.68,29.35)	28.30(22.43,33.40)	-2.050	0.040

3 讨 论

ATAAD 是一种危及生命的心血管急症^[16],其特征为主动脉内膜撕裂,血液流入动脉壁中层形成夹层血肿,并可能沿主动脉内膜与中膜间扩展^[17]。ATAAD 发病急骤、进展迅速、致死率高,患者每小时死亡风险可达 1%~2%。对于绝大多数患者,包括合并神经功能缺损者,紧急手术是首选治疗方案。相比之下,非手术治疗死亡率可高达 60%^[18]。

膈肌作为人体最主要的呼吸肌,承担了大部分呼吸做功^[19],是呼吸运动的关键结构。研究表明,机械通气可诱发膈肌功能障碍(ventilator-induced diaphragmatic dysfunction,VIDD),导致膈肌收缩力出现早期且进行性下降^[20-21]。VIDD 会增加患者对呼吸机的依赖,延长脱机时间,并升高出院死亡率^[22]。目前,VIDD 的确切机制尚未完全阐明,但涉及肌肉萎缩、氧化应激、结构损伤、肌纤维重塑及线粒体功能障碍等多种因素^[23-24]。心脏术后患者 VIDD 发生率较高,文献报道为 10%~60%不等^[25]。心脏术后早期发生膈肌功能障碍的具体原因和机制可能与心脏停搏液低温刺激导致的膈神经损伤、术中膈神经机械性损伤、开胸术后膈肌萎缩、线粒体高氧应激、促炎因子释放增加、肺不张、肺炎、多器官衰竭以及术后胸腔血性引流液影响等有关^[13,26]。上述因素会影响患者的脱机决策,导致住院时间延长、并发症风险增加,加重医疗经济负担^[27-28]。

膈神经电刺激可通过开放式手术电极植入、经静脉或体外经皮刺激等途径实现^[29]。EDP 通过刺激膈神经增强膈肌收缩,改善呼吸功能,减少机械通气依赖,进而保护器官功能。手术植入或经静脉刺激可能导致膈神经损伤和植入物感染风险^[30],而 EDP 采用体表电极进行低频脉冲刺激,操作便捷且安全性良好,常作为康复治疗首选^[31]。

本研究结果显示,EDP 干预组的机械通气时间短于对照组,脱机成功率、氧合指数及潮气量高于对照组($P<0.05$)。既往研究证实,无创膈神经刺激可有效诱导健康志愿者膈肌收缩^[32]。CHEN 等^[33]在围手术期肺癌患者中发现,EDP 治疗可明显改善肺功能。另有研究表明,经皮膈神经刺激能预防机械通气期间膈肌萎缩,避免膈肌厚度与收缩功能下降^[34-35]。本研

究中,干预组左、右侧 DE 和 DTF 均高于对照组($P<0.05$),提示 EDP 可改善 ATAAD 术后机械通气患者的膈肌功能。

本研究亦存在一定局限性:(1)极度肥胖患者因皮下脂肪组织过厚,可能限制膈神经对刺激信号的接收,从而影响 EDP 的治疗效果;(2)研究样本量有限,未来需扩大样本规模以进一步验证结果的可靠性;(3)部分患者因肥胖、胃肠道积气或手术切口等因素导致超声图像质量不佳,可能对膈肌功能检测结果造成干扰;(4)膈肌组织相对较薄,其测量结果存在固有误差风险。本团队将持续关注领域内研究进展,积极借鉴先进方法与经验,着力提升临床数据采集的精准性与完整性,旨在为临床诊疗决策提供更可靠的科学依据。

综上所述,EDP 可增强患者膈肌功能,缩短机械通气时间,提高脱机成功率,改善 ATAAD 术后机械通气患者的脱机结局。

参考文献

[1] 卢静,张永利. ICU 危重症患者膈肌功能障碍研究进展[J]. 中国急救医学, 2025, 45(2): 171-178.

[2] SUPINSKI G S, MORRIS P E, DHAR S, et al. Diaphragm dysfunction in critical illness[J]. Chest, 2018, 153(4): 1040-1051.

[3] LI L, JIANG F, HAO W Y, et al. Single-nucleus transcriptomic profiling of the diaphragm during mechanical ventilation [J]. Sci Rep, 2024, 14(1): 31181.

[4] DOT I, PEREZ-TERAN P, FRANCES A, et al. Association between histological diaphragm atrophy and ultrasound diaphragm expiratory thickness in ventilated patients[J]. J Intensive Care, 2022, 10(1): 40.

[5] MORRIS I S, BASSI T, OOSTHUYSEN C, et al. Phrenic nerve stimulation for acute respiratory failure [J]. Respir Care, 2023, 68(12): 1736-1747.

- [6] GAYAN-RAMIREZ G, DECRAMER M. Effects of mechanical ventilation on diaphragm function and biology[J]. *Eur Respir J*, 2002, 20(6): 1579-1586.
- [7] 戚新雪, 王莹, 周天乐, 等. 体外膈神经电刺激对脑损伤术后昏迷的脱机困难患者机械通气时间, 膈肌功能及其预后的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2024, 39(11): 1613-1619.
- [8] ETIENNE H, MORRIS I S, HERMANS G, et al. Diaphragm neurostimulation assisted ventilation in critically ill patients[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 207(10): 1275-1282.
- [9] RIZZA V, MARANTA F, CIANFANELLI L, et al. Imaging of the diaphragm following cardiac surgery: focus on ultrasonographic assessment[J]. *J Ultrasound Med*, 2023, 42(11): 2481-2490.
- [10] LAGHLAM D, NAUDIN C, SROUR A, et al. Persistent diaphragm dysfunction after cardiac surgery is associated with adverse respiratory outcomes: a prospective observational ultrasound study[J]. *Can J Anaesth*, 2023, 70(2): 228-236.
- [11] MOURY P H, CUISINIER A, DURAND M, et al. Diaphragm thickening in cardiac surgery: a perioperative prospective ultrasound study[J]. *Ann Intensive Care*, 2019, 9(1): 50.
- [12] AGUIRRE V J, SINHA P, ZIMMET A, et al. Phrenic nerve injury during cardiac surgery: mechanisms, management and prevention[J]. *Heart Lung Circ*, 2013, 22(11): 895-902.
- [13] HUAI H, GE M, ZHAO Z, et al. Early diaphragm dysfunction assessed by ultrasonography after cardiac surgery: a retrospective cohort study[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2024, 11: 1457412.
- [14] ZHU Y, LINGALA B, BAIOCCHI M, et al. Type A aortic dissection-experience over 5 decades: JACC historical breakthroughs in perspective[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2020, 76(14): 1703-1713.
- [15] 谢志扬, 王珏, 方振红, 等. 膈肌超声检测在预测 A 型主动脉夹层患者术后机械通气脱机结局中的应用[J]. *浙江医学*, 2024, 46(15): 1601-1606.
- [16] 胡佳文, 闫扬, 师桃. 急性 A 型主动脉夹层患者术后非计划再次气管插管的危险因素及其预测价值[J]. *西安交通大学学报(医学版)*, 2022, 43(4): 534-538.
- [17] 李嘉骏, 张宇聪, 王靖, 等. 急性 Stanford A 型主动脉夹层术前低氧血症对术后消化道出血的影响分析[J/CD]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2024, 16(7): 80-86.
- [18] MALAISRIE S C, SZETO W Y, HALAS M, et al. 2021 The American association for thoracic surgery expert consensus document: surgical treatment of acute type a aortic dissection[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2021, 162(3): 735-758.
- [19] 吴月红, 梁红霞, 席芳, 等. 体外膈肌起搏预防无创机械通气患者膈肌功能障碍的效果研究[J]. *中华护理杂志*, 2022, 57(9): 1029-1034.
- [20] POWERS S K. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: phenomenology and mechanism(s) of pathogenesis[J]. *J Physiol*, 2024, 602(19): 4729-4752.
- [21] ZHANG J, TU R, GUAN F, et al. Irisin attenuates ventilator-induced diaphragmatic dysfunction by inhibiting endoplasmic reticulum stress through activation of AMPK[J]. *J Cell Mol Med*, 2024, 28(9): e18259.
- [22] ADDINSALL A B, CACCIANI N, MORUZZI N, et al. Ruxolitinib: a new hope for ventilator-induced diaphragm dysfunction[J]. *Acta Physiol*, 2024, 240(5): e14128.
- [23] BERGER D, BLOECHLINGER S, VON HAEHLING S, et al. Dysfunction of respiratory muscles in critically ill patients on the intensive care unit[J]. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 2016, 7(4): 403-412.
- [24] VASSILAKOPOULOS T. Ventilator-induced diaphragm dysfunction: the clinical relevance of animal models[J]. *Intensive Care Med*, 2008, 34(1): 7-16.
- [25] MARANTA F, CIANFANELLI L, RIZZA V, et al. Diaphragm dysfunction after cardiac surgery: insights from ultrasound imaging during cardiac rehabilitation[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2022, 48(7): 1179-1189.
- [26] 魏展华, 蔡忠香, 任宗力, 等. 急性 Stanford A 型主动脉夹层患者术后机械通气时间延长危险因素的研究进展[J]. *实用心脑肺血管病杂志*, 2024, 32(9): 16-20. (下转第 2370 页)