

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2026.02.014

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250923.1640.006\(2025-09-24\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20250923.1640.006(2025-09-24))

## 机械通气模式及呼气末正压与 PICU 机械通气患儿膈肌功能分级的相关性分析\*

翟娜娜<sup>1</sup> 王静静<sup>1</sup> 董芳玲<sup>1</sup> 李斌<sup>1</sup> 易欣<sup>2△</sup>

(昆明市儿童医院/昆明医科大学附属儿童医院:1.重症监护病区;2.超声科,昆明 650228)

**[摘要]** **目的** 探讨机械通气模式及呼气末正压(PEEP)与儿童重症监护病房(PICU)机械通气患儿膈肌功能的相关性。**方法** 选取 2024 年 1 月至 2025 年 1 月该院 PICU 收治的 58 例机械通气患儿为研究对象,所有研究对象进行膈肌超声检查并计算膈肌增厚分数(DTF),根据 DTF 结果分为膈肌功能正常组、轻度膈肌功能障碍组、重度膈肌功能障碍组。比较 3 组临床指标、机械通气时间、PICU 住院时间、脱机结局,分析 DTF 与观察指标的相关性,并分析膈肌功能分级的影响因素。**结果** 根据 DTF 结果,膈肌功能正常组 23 例、轻度膈肌功能障碍组 31 例、重度膈肌功能障碍组 4 例。3 组呼吸机模式、PEEP 水平和肌松剂使用率比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ )。DTF 与控制性机械通气、PEEP、使用肌松剂、PICU 住院时间、机械通气时间呈负相关( $P < 0.05$ )。多因素 logistic 回归分析结果显示,支持通气( $OR = 0.159, 95\%CI: 0.025 \sim 0.310$ )、PEEP( $OR = 2.110, 95\%CI: 1.198 \sim 3.719$ )是机械通气患儿膈肌功能分级的影响因素( $P < 0.05$ )。3 组 PICU 住院时间、机械通气时间比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),且重度膈肌功能障碍组 PICU 住院时间、机械通气时间最长( $P < 0.05$ )。随着机械通气时间延长,重度膈肌功能障碍组脱机累积概率较其他两组明显降低。**结论** 可通过优化通气模式和 PEEP 设置实施儿童膈肌保护性通气策略。

**[关键词]** 膈肌功能障碍;膈肌增厚分数;机械通气;保护性通气策略;儿童

**[中图分类号]** R720.597 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2026)02-0323-05

## Correlation analysis of mechanical ventilation modes and end-tidal positive pressure with diaphragm function in children undergoing mechanical ventilation in PICU\*

ZHAI Nana<sup>1</sup>, WANG Jingjing<sup>1</sup>, DONG Fangling<sup>1</sup>, LI Bin<sup>1</sup>, YI Xin<sup>2△</sup>

(1. Intensive Care Unit; 2. Department of Ultrasonography, Kunming Children's Hospital/Affiliated Children's Hospital of Kunming Medical University, Kunming, Yunnan 650228, China)

**[Abstract]** **Objective** To explore the correlation between mechanical ventilation modes and positive end-expiratory pressure (PEEP) and the diaphragm function of children in the pediatric intensive care unit (PICU) who are undergoing mechanical ventilation. **Methods** A total of 58 children who received mechanical ventilation in the PICU of the hospital from January 2024 to January 2025 were selected as the research subjects. All the subjects underwent diaphragm ultrasound examination and the diaphragm thickness fraction (DTF) was calculated. According to the DTF results, the subjects were divided into the normal diaphragm function group, the mild diaphragm dysfunction group, and the severe diaphragm dysfunction group. **Results** According to the DTF results, there were 23 cases in the normal diaphragm function group, 31 cases in the mild diaphragm dysfunction group, and 4 cases in the severe diaphragm dysfunction group. Comparisons of ventilator modes, PEEP levels, and the usage rate of muscle relaxants among the three groups showed statistically significant differences ( $P < 0.05$ ). DTF was negatively correlated with controlled mechanical ventilation, PEEP, the use of muscle relaxants, PICU hospitalization time, and mechanical ventilation time ( $P < 0.05$ ). The results of multivariate logistic regression analysis indicated that assisted ventilation ( $OR = 0.159, 95\%CI: 0.025 - 0.310$ ) and PEEP ( $OR = 2.110, 95\%CI: 1.198 - 3.719$ ) were the influencing factors for the diaphragm function classification of children undergoing mechanical ventilation ( $P < 0.05$ ). Comparisons of PICU hospitaliza-

tion time and mechanical ventilation time among the three groups showed statistically significant differences ( $P < 0.05$ ), and the PICU hospitalization time and mechanical ventilation time were the longest in the severe diaphragm dysfunction group ( $P < 0.05$ ). With the prolongation of mechanical ventilation time, the cumulative probability of weaning from mechanical ventilation in the severe diaphragm dysfunction group was significantly lower than that in the other two groups. **Conclusion** The protective ventilation strategy for the diaphragm of children can be implemented by optimizing the ventilation mode and PEEP settings.

**[Key words]** diaphragmatic dysfunction; diaphragmatic thickness fraction; mechanical ventilation; protective ventilation strategy; children

机械通气是治疗各种原因所致呼吸衰竭的有效支持手段,在儿童重症监护病房(pediatric intensive care unit, PICU),因呼吸衰竭或心肺疾病住院的患儿中约 63% 需接受机械通气<sup>[1]</sup>。膈肌作为人体的“呼吸泵”,在呼吸过程中提供约 80% 的动力。然而,研究显示,机械通气在维持呼吸的同时,可能引起膈肌结构和功能的改变,导致其收缩能力下降,这一现象被称为机械通气相关膈肌功能障碍(ventilator-induced diaphragmatic dysfunction, VIDD)。VIDD 通常在机械通气开始 24 h 后发生,是导致患者脱机困难、住院时间与机械通气时间延长的重要因素之一。床旁超声具有便捷、无创、可重复及实时动态观察等优点,能够直观显示膈肌形态并定量评估膈肌功能,适用于机械通气期间膈肌变化的监测。多项基于超声的研究表明,机械通气可并发膈肌萎缩与功能障碍,并影响脱机结局<sup>[2-4]</sup>。因此,本研究旨在探讨机械通气模式及呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)与 PICU 机械通气患儿膈肌功能的相关性,现报道如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2024 年 1 月至 2025 年 1 月本院 PICU 收治的 58 例机械通气患儿为研究对象。纳入标准:(1)年龄 1~18 岁;(2)入院时机械通气且预计通气时间超过 48 h。排除标准:(1)院前机械通气 24 h 以上;(2)入院 24 h 内死亡;(3)脊髓损伤、吉兰-巴雷综合征等引起膈肌无力或膈肌麻痹;(4)缺乏适当的声窗(皮下气肿、血气胸、开胸手术)用于膈肌评估。本研究已通过本院伦理委员会批准(审批号:2023-03-273-K01),患儿监护人均知情同意。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 治疗方式

入院后根据患儿年龄、体重、临床诊断、机械通气病因选用特定通气及镇静方案。记录临床特征(血红蛋白、ALB)、呼吸机模式、第 1 周最高参数、使用肌松药和类固醇激素情况、临床结局(脱机结局、机械通气时间、PICU 住院时间)。

#### 1.2.2 膈肌超声检查

在第 1、3、7 天对患儿进行床旁膈肌超声检查,使

用 7~12 MHz 线阵探头测量右侧膈肌增厚,以 M 超模式将探头垂直于胸壁且平行于腋前线第 7~9 肋间隙,获得超声图像,采集并储存呼吸周期中的膈肌增厚变化,在冻结图像中测量吸气末膈肌厚度(diaphragmatic thickness at end of inspiration, DTi)、呼气末膈肌厚度(diaphragmatic thickness at end of expiration, DTe),即排除胸膜和腹膜的低回声肌层厚度,并计算膈肌增厚分数(diaphragmatic thickness fraction, DTF), $DTF = (DTi - DTe) \times 100 / DTe$ ,所有参数为 3 次测量的平均值,由同一位经过专科超声培训的医生进行超声测量。依据 DTF 分为膈肌功能正常组、轻度膈肌功能障碍组、重度膈肌功能障碍组<sup>[5-7]</sup>。在机械通气的第 1 周内,若 DTF 平均值  $< 10\%$ ,即为重度膈肌功能障碍组。若 DTF 平均值  $\geq 20\%$  为膈肌功能正常组。若 DTF 平均值为  $10\% \sim < 20\%$ ,即为轻度膈肌功能障碍组。

#### 1.2.3 观察指标

比较 3 组临床指标、机械通气时间、PICU 住院时间、脱机结局,分析 DTF 与观察指标的相关性,以及膈肌功能分级的影响因素。

#### 1.3 统计学处理

采用 SPSS25.0 软件进行数据分析,正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示,比较采用单因素方差分析;不符合正态分布的计量资料以  $M(Q_1, Q_3)$  表示,比较采用 Kruskal-Wallis 检验;计数资料以例数或百分比表示,比较采用  $\chi^2$  检验或 Fisher 确切概率法;Spearman 检验分析相关性,逐步 logistic 回归分析影响因素,以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 3 组一般资料比较

根据 DTF 结果,膈肌功能正常组 23 例、轻度膈肌功能障碍组 31 例、重度膈肌功能障碍组 4 例。3 组呼吸机模式、PEEP 水平和肌松剂使用率比较,差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表 1。

### 2.2 DTF 与观察指标的相关性分析

DTF 与控制性机械通气、PEEP、使用肌松剂、PICU 住院时间、机械通气时间呈负相关( $P < 0.05$ ),见表 2。

表 1 3 组一般资料比较

项目	全部 (n=58)	膈肌功能正常组 (n=23)	轻度膈肌功能障碍组 (n=31)	重度膈肌功能障碍组 (n=4)	$\chi^2/Z/F$	P
男[n(%)]	39(67.2)	14(60.9)	22(71.0)	3(75.0)	0.729	0.695
年龄[M(Q <sub>1</sub> ,Q <sub>3</sub> ),月]	62.50(23.75,95.50)	62.00(23.75,95.50)	73.00(31.50,87.50)	50.50(15.00,87.25)	0.800	0.701
体重[M(Q <sub>1</sub> ,Q <sub>3</sub> ),kg]	18.00(11.87,25.00)	18.00(12.75,21.50)	18.80(11.75,25.50)	17.00(9.75,24.25)	0.663	0.863
机械通气病因[n(%)]					7.575	0.108
中枢神经系统疾病	28(48.3)	14(60.9)	13(41.9)	1(25.0)		
呼吸系统疾病	22(37.9)	6(26.1)	15(48.4)	1(25.0)		
休克	8(13.8)	3(13.0)	3(9.7)	2(50.0)		
临床特征( $\bar{x}\pm s$ ,g/L)						
血红蛋白	119.41±20.65	122.48±21.10	117.03±20.30	120.25±24.39	1.084	0.460
ALB	34.73±6.37	34.27±6.15	35.20±6.59	33.78±7.38	0.747	0.757
呼吸机模式[n(%)]					7.092	0.029
控制性机械通气	51(87.9)	17(73.9)	30(96.8)	4(100.0)		
支持通气	7(12.1)	6(26.1)	1(3.2)	0		
第 1 周最高参数[M(Q <sub>1</sub> ,Q <sub>3</sub> )]						
PEEP(cmH <sub>2</sub> O)	5.00(4.00,11.00)	4.00(4.00,5.00)	5.00(4.00,5.00)	8.50(7.75,9.50)	4.828	0.001
PIP(cmH <sub>2</sub> O)	17.00(15.00,19.00)	19.50(18.00,21.00)	17.00(15.00,18.00)	17.00(15.00,19.50)	1.347	0.227
FiO <sub>2</sub>	0.50(0.43,0.60)	0.60(0.58,0.65)	0.50(0.45,0.60)	0.50(0.40,0.60)	0.548	0.739
使用肌松剂[n(%)]	14(24.1)	4(17.4)	6(19.4)	4(100.0)	13.530	0.007
使用类固醇激素[n(%)]	47(81.0)	18(78.3)	25(80.6)	4(100.0)	1.054	0.703

PIP:吸气峰压;FiO<sub>2</sub>:吸入氧浓度分数。

表 2 DTF 与观察指标的相关性分析

项目	r	P
控制性机械通气	-0.273	0.038
PEEP	-0.391	0.002
使用肌松剂	-0.243	0.046
PICU 住院时间	-0.307	0.019
机械通气时间	-0.286	0.030
脱机成功	0.204	0.125

### 2.3 影响患儿膈肌功能分级的多因素 logistic 回归分析

将单因素分析中差异有统计学意义的变量纳入多因素 logistic 回归分析,结果显示呼吸机模式、PEEP 是机械通气患儿膈肌功能分级的影响因素(P<0.05)。呼吸机模式中相较于控制性机械通气,支持通气导致膈肌功能分级升高 1 级的概率降低

84.1%;机械通气患儿 PEEP 每升高 1 个单位,膈肌功能分级升高 1 级的概率增加 111.0%,见表 3。

### 2.4 3 组临床结局比较

3 组 PICU 住院时间、机械通气时间比较,差异有统计学意义(P<0.05),且重度膈肌功能障碍组 PICU 住院时间、机械通气时间最长(P<0.05),见表 4。随着机械通气时间延长,重度膈肌功能障碍组脱机累积概率较其他两组明显降低,见图 1。

表 3 影响患儿膈肌功能分级的多因素 logistic 回归分析

项目	$\beta$	OR	95%CI	P
呼吸机模式				
控制性机械通气	参照			
支持通气	-1.837	0.159	0.025~0.310	0.041
PEEP	0.747	2.110	1.198~3.719	0.010
使用肌松剂	-0.199	0.809	0.163~4.123	0.809

表 4 3 组临床结局比较

项目	全部 (n=58)	膈肌功能正常组 (n=23)	轻度膈肌功能障碍组 (n=31)	重度膈肌功能障碍组 (n=4)	Z/ $\chi^2$	P
PICU 住院时间[M(Q <sub>1</sub> ,Q <sub>3</sub> ),d]	15.00(11.00,22.75)	17.00(11.50,20.50)	12.00(10.00,19.00)	39.00(36.75,40.50)	11.075	0.004
机械通气时间[M(Q <sub>1</sub> ,Q <sub>3</sub> ),h]	214(185,283)	192(176,251)	227(200,389)	662(631,666)	12.637	0.002
脱机失败[n(%)]	8(13.8)	1(4.3)	5(16.1)	2(50.0)	4.933	0.133

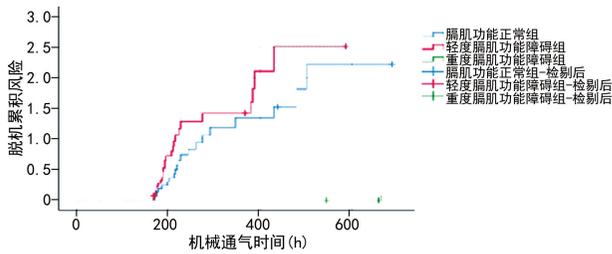


图 1 3 组脱机累积风险曲线

### 3 讨 论

DTF 是目前评估机械通气患儿膈肌功能的重要工具之一,其评估结果在不同国家的研究中已得到验证,具有较好的一致性。研究表明,DTF 降低提示膈肌收缩力下降或功能障碍,且与机械通气相关,可能进一步导致撤机困难<sup>[3]</sup>。在成人重症患者中,DTF < 20% 作为膈肌功能障碍的诊断阈值已得到多项权威研究支持<sup>[8]</sup>。本研究结果显示,3 组呼吸机模式与 PEEP 水平存在明显不同,且这些差异对患儿膈肌功能分级具有影响。

膈肌功能障碍已成为 ICU 中机械通气患儿的重要临床问题,与脱机失败率增加和机械通气时间延长密切相关。危重症患儿膈肌功能障碍可能继发于危重病多发神经病变或肌病,也可由机械通气本身引起。VIDD 直接源于机械通气,主要表现为失用性肌纤维萎缩、负荷性肌纤维损伤及功能下降,其机制涉及蛋白质合成减少与分解增加、膈肌血流减少、线粒体损伤及膈肌基因表达改变等<sup>[9-10]</sup>。本研究显示,与控制性机械通气相比,支持通气对膈肌功能的影响较小,与既往研究<sup>[11]</sup>结果一致。控制性机械通气完全由外部力量替代膈肌主动收缩,导致膈肌电活动减弱甚至消失,代谢需求降低,局部血流调节能力降低,从而加剧膈肌废用<sup>[12]</sup>,进而引发功能下降,但具体机制仍需进一步验证。近年来,随着膈肌评估技术的进步,VIDD 得以更早识别。临床中通常在疾病早期采用控制性机械通气使呼吸肌休息,但应避免持续时间过长,并及时过渡至部分支持通气模式,保留自主呼吸,结合呼吸肌训练,提高呼吸肌活性与耐力,促进膈肌功能恢复,从而防治 VIDD<sup>[13-14]</sup>。

PEEP 是机械通气患儿参数设置的重要组成部分。本研究发现,重度膈肌功能障碍组 PEEP 水平高于膈肌功能正常组、轻度膈肌功能障碍组 ( $P < 0.05$ ),且 DTF 与 PEEP 水平呈负相关 ( $P < 0.05$ ),其为机械通气患儿膈肌功能分级的影响因素 ( $P < 0.05$ )。PEEP 作为肺保护性通气策略的核心组成部分,通过维持肺泡开放有效改善氧合。然而,高水平 PEEP 可降低膈肌神经机械效率,减少呼吸努力<sup>[15]</sup>。研究显示,长期高 PEEP 水平可促进胶原沉积与膈肌纤维化,转化生长因子- $\beta 1$  信号通路激活与肌成纤维细胞分化可能是其潜在机制<sup>[16]</sup>;另有研究表明,PEEP 会

增加膈肌血管阻力、减少全膈及局部膈肌灌注,尤其在较高水平时更为明显,进而引起微循环障碍、无氧代谢增加、乳酸堆积、自由基过量生成,最终导致肌纤维结构破坏与收缩功能下降<sup>[17]</sup>。目前临床提倡通过个体化滴定 PEEP 以平衡肺泡复张与血流动力学影响,最小化肺损伤<sup>[18]</sup>,但其对膈肌功能的具体保护策略仍需进一步探索。

本研究重度膈肌功能障碍组肌松剂使用率高于膈肌功能正常组、轻度膈肌功能障碍组 ( $P < 0.05$ ),且 DTF 与使用肌松剂呈负相关 ( $P < 0.05$ ),但在调整混杂因素后无相关性,这与既往研究<sup>[19-20]</sup>结果一致。肌松剂在 ICU 中应用广泛,尤其适用于急性呼吸窘迫综合征患者,有助于改善人机同步、促进肺泡复张、降低氧耗与气压伤风险。然而,目前尚无直接证据表明肌松剂本身损害膈肌功能,但肌松过度可能导致呼吸驱动不足,肌松不足则可能加剧呼吸驱动相关肺损伤,加之 ICU 中残余肌松作用常被忽视<sup>[21]</sup>,这些因素均可促发 VIDD。因此,临床应根据患者肝肾功能等情况个体化滴定肌松剂量,在确保有效肌松的同时尽量减少药物暴露<sup>[22]</sup>。

膈肌作为主要的呼吸肌,在儿童呼吸中发挥着关键作用。本研究显示,DTF 与 PICU 住院时间、机械通气时间呈负相关 ( $P < 0.05$ )。研究报道约 30% 的 ICU 患者在持续机械通气 5 d 以上可能出现获得性肌无力,表现为四肢与躯干肌肉力量下降,而感觉与认知功能常不受影响<sup>[23-24]</sup>,这类肌病包括危重病肌病与 VIDD,其发生与全身炎症、代谢紊乱及膈肌废用有关,可能与收缩蛋白如肌球蛋白、肌动蛋白的降解相关<sup>[25-26]</sup>,常导致脱机困难,并增加住院时间、感染风险及医疗成本。

近年来,治疗手段与技术的进步明显提高了重症患者的生存率,但同时也伴随并发症的增加,其中 VIDD 尤为常见。本研究发现控制性机械通气明显增加膈肌功能障碍分级风险,且 PEEP 每升高 1 个单位,该风险约增加 111.0%,对临床结局产生重要影响。

综上所述,在临床实践中,通过审慎选择通气模式、个体化滴定 PEEP 水平以实施膈肌保护性通气策略,对于改善重症患儿的临床结局具有潜在的重要意义。然而,本研究受样本量限制,尤其是重度膈肌功能障碍组例数较少,导致逐步 logistic 回归仅能比较膈肌功能正常组与轻度膈肌功能障碍组。未来需通过多中心、大样本量队列研究进一步明确重症患儿 VIDD 的影响因素,探索不同临床条件下呼吸机参数的合理调整范围,并结合膈肌超声监测动态评估膈肌功能,优化通气策略,实现膈肌功能保护的目标。

利益冲突:所有作者声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] EGBUTA C, EASLEY R B. Update on ventilation management in the pediatric intensive care unit[J]. *Paediatr Anaesth*, 2022, 32(2): 354-362.
- [2] DRES M, DUBÉ B P, MAYAUX J, et al. Coexistence and impact of limb muscle and diaphragm weakness at time of liberation from mechanical ventilation in medical intensive care unit patients[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2017, 195(1): 57-66.
- [3] GOLIGHER E C, DRES M, FAN E, et al. Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2018, 197(2): 204-213.
- [4] GROSU H B, OST D E, LEE Y I, et al. Diaphragm muscle thinning in subjects receiving mechanical ventilation and its effect on extubation[J]. *Respir Care*, 2017, 62(7): 904-911.
- [5] SANCHEZ-PINTO L N, SAUTHIER M, RAJAPREYAR P, et al. Leveraging clinical informatics and data science to improve care and facilitate research in pediatric acute respiratory distress syndrome: from the second pediatric acute lung injury consensus conference[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2023, 24(Suppl. 2): 1-11.
- [6] GLAU C L, CONLON T W, HIMEBAUCH A S, et al. Progressive diaphragm atrophy in pediatric acute respiratory failure[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2018, 19(5): 406-411.
- [7] KHARASCH S J, DUMAS H, O'BRIEN J, et al. Detecting ventilator-induced diaphragmatic dysfunction using point-of-care ultrasound in children with long-term mechanical ventilation[J]. *J Ultrasound Med*, 2021, 40(4): 845-852.
- [8] KOCYIGIT H, GUNALP M, GENÇ S, et al. Diaphragm dysfunction detected with ultrasound to predict noninvasive mechanical ventilation failure: a prospective cohort study[J]. *Am J Emerg Med*, 2021, 45: 202-207.
- [9] MOLINA PEÑA M E, SÁNCHEZ C M, RODRÍGUEZ-TRIVIÑO C Y. Physiopathological mechanisms of diaphragmatic dysfunction associated with mechanical ventilation[J]. *Rev Esp Anestesiol Reanim (Engl Ed)*, 2020, 67(4): 195-203.
- [10] KHWAJA S A, HABIB M A, GUPTA R, et al. Unraveling ventilator-induced diaphragmatic dysfunction: a comprehensive narrative review on pathogenesis, diagnosis and management of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction[J]. *Physiother Res Int*, 2025, 30(2): e70046.
- [11] GOLIGHER E C, FAN E, HERRIDGE M S, et al. Evolution of diaphragm thickness during mechanical ventilation. impact of inspiratory effort[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2015, 192(9): 1080-1088.
- [12] ZHANG J, FENG J, JIA J, et al. Research progress on the pathogenesis and treatment of ventilator-induced diaphragm dysfunction[J]. *Heliyon*, 2023, 9(11): e22317.
- [13] GRASSI A, FERLICCA D, LUPIERI E, et al. Assisted mechanical ventilation promotes recovery of diaphragmatic thickness in critically ill patients: a prospective observational study[J]. *Crit Care*, 2020, 24(1): 85.
- [14] BISSETT B, LEDITSCHKE I A, GREEN M, et al. Inspiratory muscle training for intensive care patients: a multidisciplinary practical guide for clinicians[J]. *Aust Crit Care*, 2019, 32(3): 249-255.
- [15] JANSEN D, JONKMAN A H, VRIES H J, et al. Positive end-expiratory pressure affects geometry and function of the human diaphragm[J]. *J Appl Physiol*, 2021, 131(4): 1328-1339.
- [16] QIAN X, JIANG Y, JIA J, et al. PEEP application during mechanical ventilation contributes to fibrosis in the diaphragm[J]. *Respir Res*, 2023, 24(1): 46.
- [17] HORN A G, BAUMFALK D R, SCHULZE K M, et al. Effects of elevated positive end-expiratory pressure on diaphragmatic blood flow and vascular resistance during mechanical ventilation[J]. *J Appl Physiol*, 2020, 129(3): 626-635.
- [18] GOLIGHER E C, DRES M, PATEL B K, et al. Lung- and diaphragm-protective ventilation[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2020, 202(7): 950-961.
- [19] VALVERDE MONTORO D, GARCÍA SOLER P, HERNÁNDEZ YUSTE A, et al. Ultrasound assessment of ventilator-induced diaphragmatic dysfunction in mechanically ventilated pediatric patients[J]. *Paediatr Respir Rev*, 2021, 40: 58-64.