

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2026.04.019

✧ 临床医学研究 ✧

# 经食管超声心动图评估俯卧位通气对 ARDS 合并休克患者右心室-肺动脉耦合与右心功能的即时影响及预后价值

刘毅, 于娣, 李宁, 闫丽静, 王鑫, 牛艳慧

(河北省胸科医院重症医学科, 河北 石家庄 050041)

**【摘要】目的:** 探讨经食管超声心动图(TEE)评估俯卧位通气(PPV)对急性呼吸窘迫综合征(ARDS)合并休克患者右心室-肺动脉耦合(RV-PA)及右心功能的即时影响,并分析其与患者预后的关系。**方法:** 选取 110 例 ARDS 合并休克并行 PPV 治疗的患者作为研究对象。所有患者在 PPV 前(仰卧位)、PPV 后 1 h 采用 TEE 监测右心功能指标,包括三尖瓣环收缩期位移(TAPSE)、右心室面积变化分数(RVFAC)、肺动脉收缩压(PASP),并计算 TAPSE/PASP 比值以评估 RV-PA 耦合。同时记录患者治疗前后的血流动力学参数、氧合指标变化,统计 28 d 死亡率。**结果:** PPV 后 1 h,患者氧合指数( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ )改善( $P < 0.05$ ),右心功能指标 RVFAC、TAPSE 均升高( $P < 0.05$ ),PASP 和右心室做功指数(RMPI)均降低( $P < 0.05$ ),TAPSE/PASP 比值上升( $P < 0.05$ )。多因素 Logistic 回归分析显示,PPV 后 TAPSE/PASP 比值升高和 RMPI 降低是 28 d 全因死亡风险生存的独立预测因素( $P < 0.05$ )。**结论:** PPV 能即时改善 ARDS 合并休克患者的右心功能及 RV-PA 耦合,TEE 监测的 TAPSE/PASP 比值可作为评估 PPV 血流动力学效应及预后的重要指标。

**【关键词】** 急性呼吸窘迫综合征;休克;俯卧位通气;经食管超声心动图;右心室-肺动脉耦合

**【中图分类号】** R563.8 **【文献标志码】** A

## Transesophageal echocardiography for evaluating the immediate effects of prone position ventilation on right ventricular-pulmonary arterial coupling and right heart function in patients with ARDS complicated by shock and its prognostic value

LIU Yi, YU Di, LI Ning, YAN Li-jing, WANG Xin, NIU Yan-hui

(Department of Critical Care Medicine, Hebei Chest Hospital, Shijiazhuang 050041, Hebei, China)

**【Abstract】Objective:** To evaluate the immediate effects of prone position ventilation (PPV) on right ventricular-pulmonary arterial coupling (RV-PA) and right heart function in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) complicated by shock using transesophageal echocardiography (TEE), and to analyze its relationship with prognosis. **Methods:** A total of 110 patients with ARDS complicated by shock who received PPV were enrolled as subjects. For all patients in the observation group, TEE was used to monitor right heart function indicators before PPV (supine position), 1 hour after PPV. These indicators included tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE), right ventricular fractional area change (RVFAC), and pulmonary artery systolic pressure (PASP). The TAPSE/PASP ratio was calculated to assess RV-PA coupling. Hemodynamic parameters and oxygenation indices of patients before and after treatment, and 28-day mortality were also recorded. **Results:** At 1 hour after PPV, the patients' oxygenation index ( $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ) improved ( $P < 0.05$ ). Right heart function indicators RVFAC and TAPSE increased ( $P < 0.05$ ), while PASP and the right ventricular myocardial performance index (RMPI) decreased ( $P < 0.05$ ). The TAPSE/PASP ratio markedly increased ( $P < 0.05$ ). Multivariate Logistic regression analysis demonstrated that an increased TAPSE/PASP ratio and a decreased RMPI following PPV were independent predictors of 28-day all-cause mortality ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** PPV can immediately improve right heart function and RV-PA coupling in ARDS patients with shock. The TAPSE/PASP ratio monitored by TEE can serve as an important indicator for assessing the hemodynamic effects of PPV and predicting patient prognosis.

基金项目: 河北省医学科学研究课题计划资助项目(20210114)

作者简介: 刘毅(1989—),女,硕士,主治医师。E-mail:13148631955@163.com

通讯作者: 于娣。E-mail:yudi1048@163.com

**【Key words】** Acute respiratory distress syndrome; Shock; Prone position ventilation; Transesophageal echocardiography; Right ventricular-pulmonary arterial coupling

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 是重症医学科常见的危重症, 极易并发脓毒性休克, 而当 ARDS 与休克并存时, 两者形成恶性循环, 进一步加剧组织器官灌注不足与缺氧, 显著增加了治疗的复杂性与患者的死亡风险<sup>[1-2]</sup>。俯卧位通气 (prone position ventilation, PPV) 是目前中重度 ARDS 的标准治疗策略之一, 大量研究<sup>[3-4]</sup>证实, PPV 通过改善肺通气的均一性、促进背侧肺泡复张、减轻心脏对肺组织的压迫以及优化通气/血流比, 能显著改善患者氧合, 并降低病死率。近年来, 越来越多的证据表明<sup>[5-6]</sup>, PPV 的血流动力学益处可能远不止于改善氧合, 其通过降低区域性肺血管阻力、减轻心室相互依赖的不良影响, 可能对右心功能产生积极的保护作用。然而, PPV 对 ARDS 合并休克这一极高危人群右心功能及右心室-肺动脉耦合 (right ventricular-pulmonary arterial coupling, RV-PA) 的即时影响如何, 其变化是否与患者预后相关, 目前尚缺乏深入、精准的实时评估数据<sup>[7]</sup>。经食管超声心动图 (transesophageal echocardiography, TEE) 检测不受肺气干扰, 图像清晰, 能够实时、精准地评估右心室大小、收缩功能 [如右心室面积变化分数 (right ventricular fractional area change, RVFAC)、三尖瓣环收缩期位移 (tricuspid annular plane systolic excursion, TAPSE)、肺动脉压力 (pulmonary artery systolic pressure, PASP) 以及整体功能指数 (right myocardial performance index, RMPI)], 其中, TAPSE 与 PASP 的比值 (TAPSE/PASP) 作为一个简便、可靠的无创指标, 被广泛用于评估 RV-PA 耦合状态, 比值降低提示解耦联, 与不良预后密切相关<sup>[8-9]</sup>。因此, 本研究旨在利用 TEE 前瞻性地评估俯卧位通气对 ARDS 合并休克患者右心功能及 RV-PA 耦合的即时影响, 并进一步探讨这种血流动力学效应对患者预后的评估价值。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

本研究旨在探讨 PPV 对患者预后的影响, 28 d 全因死亡率是主要结局指标。根据预实验及张龙玉等<sup>[10]</sup>的研究, 课题组预计常规仰卧位通气的 28 d 死亡率约为 50%, 而 PPV 治疗可将其降低至 30%。基于此预期, 使用 PASS 15.0 软件, 采用配对设计 (自身前后比较) 的样本量计算公式进行估算。设定检验效能 (1-β) 为 0.80, 显著性水平 (α) 为 0.05 (双

侧), 计算得出所需样本量为 50 例。考虑到研究过程中可能存在约 10% 的脱落率 (如数据采集不全或质量不达标), 最终确定总样本量为 (50/0.9) ≈ 56 例。为保险起见, 本研究计划纳入 110 例患者, 以确保有足够的统计效力检测出治疗前后的差异。

选取 2022 年 9 月至 2025 年 9 月于河北省胸科医院重症医学科收治的符合研究标准的 ARDS 合并休克患者 110 例, 男性 63 例, 女性 47 例, 年龄 (58.45 ± 3.29) 岁。本研究经医院伦理委员会批准, 所有患者家属均知情同意。纳入标准: (1) 年龄 ≥ 18 岁; (2) 符合中度至重度 ARDS 诊断标准 (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> ≤ 200 mmHg, PEEP ≥ 5 cmH<sub>2</sub>O); (3) 需持续输注去甲肾上腺素 > 0.1 μg/kg/min 或等效药物以维持 MAP ≥ 65 mmHg; (3) 预计俯卧位通气时间 ≥ 16 h。排除标准: (1) 存在严重颅脑损伤、脊柱不稳、严重肥胖 > 150 kg、近期腹部手术等俯卧位通气禁忌证; (2) 妊娠期或哺乳期妇女; (3) 存在食管疾病、活动性上消化道出血等 TEE 检查禁忌证; (4) 患有终末期心脏病; (5) 临床资料不全或放弃治疗者。

### 1.2 方法

1.2.1 治疗方法 所有患者均按照 ARDS 集束化治疗方案进行管理, 包括肺保护性通气策略 (潮气量 6~8 mL/kg 理想体重, 平台压 ≤ 30 cmH<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 适当 PEEP)、镇痛镇静、液体管理及原发病治疗。休克患者根据指南进行液体复苏和血管活性药物 (首选去甲肾上腺素) 应用, 以维持 MAP ≥ 65 mmHg。当患者符合 PPV 指征 (PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> < 150 mmHg) 且无禁忌证时, 由经验丰富的医护团队执行标准化的俯卧位翻身操作, 每次 PPV 持续时间 ≥ 16 h。

1.2.2 超声检查方法 采用飞利浦 EPIQ 7C 超声诊断仪, 配备 X7-2t 经食管超声探头。分别于患者 PPV 前 (仰卧位) 及 PPV 后 1 h (体位稳定后) 进行 TEE 检查, 获取高质量影像图 (图 1)。由两名不知晓临床资料的高年资超声医师操作并测量, 取三次测量平均值。测量指标包括: (1) 右心功能指标: 于食管中段四腔心观测量右心室舒张末期面积 (right ventricular end-diastolic area, RVEDA) 和收缩末期面积 (right ventricular end-systolic area, RVESA), 计算右心室面积变化分数 (RVFAC = [(RVEDA - RVESA)/RVEDA] × 100%)。于食管中段右心室流入-流出道使用 M 型超声测量 TAPSE。(2) 肺动脉压指标: 应用连续多普勒测量三尖瓣反流峰值流速 (tricuspid regurgitation velocity, TRV), 根据简化伯努利方程计算肺动脉收缩压 [PASP = 4 ×

$(TRV)^2 + \text{右房压 (right atrial pressure, RAP)}$ 。RAP 根据下腔静脉内径及呼吸变异度估测 (5~15 mmHg)。(3)右心室整体功能指标:使用组织多普勒测量右心室射血时间(right ventricular ejection time, RVET)和等容收缩时间(isovolumic con-

traction phase, IVCT)与等容舒张时间(isovolumic relaxation time, IVRT)之和,计算右心室做功指数  $[RMPI = (IVCT + IVRT) / RVET]$ 。(4)RV-PA 耦合指标:计算 TAPSE 与 PASP 的比值  $(TAPSE / PASP)$ 。

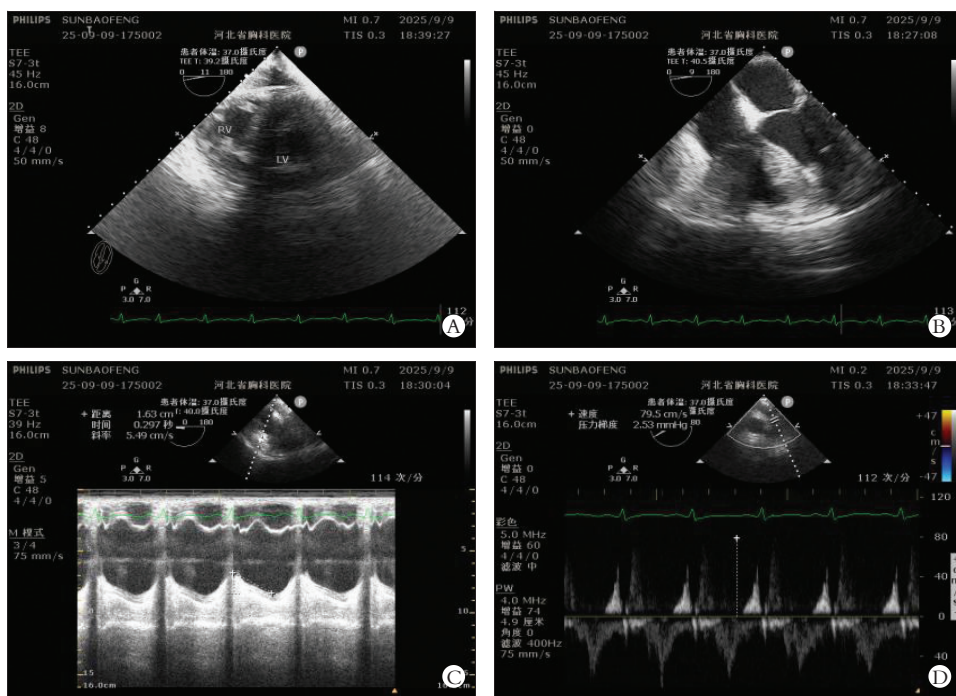


图 1 经食管超声心动图

A. 右室短轴切面(带标注);B. 四腔心切面;C. 三尖瓣位移;D. 肺动脉血流频谱及肺动脉压。

### 1.3 分组

统计患者自入组(开始俯卧位通气)之日起 28 d 后的生存状态,将其分为生存组( $n=79$ )与死亡组( $n=31$ )。生存组:28 d 内成功撤除血管活性药物及机械通气,或虽未完全脱离呼吸支持但生命体征稳定,并于 28 d 时间点时存活的患者。死亡组:28 d 时间点前因任何原因死亡的患者。

### 1.4 统计学分析

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行数据分析。计量资料以  $(\bar{x} \pm s)$  表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验,组内比较采用配对样本  $t$  检验。计数资料以  $[n(\%)]$  表示,组间比较采用独立样本  $\chi^2$  检验。采用多因素 Logistic 回归分析评估预后的独立影响因素。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 PPV 对患者氧合及血流动力学的影响

与 PPV 前相比,PPV 后 1 h 患者  $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$  升高( $P < 0.05$ ),心率、平均动脉压、中心静脉压及血管活性药物剂量比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 1。

表 1 PPV 对患者氧合及血流动力学的影响  $(\bar{x} \pm s)$

指标	PPV 前	PPV 后 1 h	$t$ 值	$P$ 值
$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (mmHg)	109.82±18.79	156.34±27.16	14.773	<0.001
心率(次/min)	102.35±11.52	99.83±11.41	1.630	0.105
平均动脉压(mmHg)	72.45±6.77	73.13±5.88	0.795	0.427
中心静脉压(mmHg)	11.56±2.32	11.23±2.11	1.104	0.271
NE 等效剂量( $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$ )	0.26±0.09	0.25±0.07	0.920	0.359

### 2.2 PPV 对右心功能及 RV-PA 耦合的影响

TEE 评估显示,与 PPV 前相比,PPV 后 1 h RVFAC、TAPSE 均升高( $P < 0.05$ ),PASP、RMPI 均降低( $P < 0.05$ ),TAPSE/PASP 比值升高( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 2 PPV 对右心功能及 RV-PA 耦合的影响  $(\bar{x} \pm s)$

TEE 参数	PPV 前	PPV 后 1 h	$t$ 值	$P$ 值
RVFAC(%)	32.45±5.47	35.83±4.94	4.810	<0.001
TAPSE(mm)	14.53±2.32	16.02±2.10	4.994	<0.001
PASP(mmHg)	45.62±6.74	41.24±5.85	5.147	<0.001
RMPI	0.48±0.08	0.43±0.07	4.933	<0.001
TAPSE/PASP (mm/mmHg)	0.32±0.07	0.39±0.08	6.906	<0.001

### 2.3 影响 ARDS 合并休克患者经食管超声心动图评估俯卧位通气后预后不良的相关因素

单因素分析显示, APACHE II 评分、PPV 前 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>、NE 等效剂量、中心静脉压及 PPV 后 1 h RVFAC、TAPSE、PASP、RMPI、TAPSE/PASP 水平均是预测 ARDS 合并休克患者经食管超声心动图评估俯卧位通气后预后不良的相关因素 ( $P < 0.05$ )。见表 3。

表 3 影响 ARDS 合并休克患者经食管超声心动图评估俯卧位通气后预后不良的相关因素 [ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

指标	生存组(n=79)	死亡组(n=31)	t/χ <sup>2</sup> 值	P 值
年龄(岁)	57.92±3.41	59.21±3.03	1.840	0.069
性别			0.105	0.746
男	46(58.23)	17(54.84)		
女	33(41.77)	14(45.16)		
APACHE II 评分(分)	25.34±4.12	28.15±3.91	3.264	0.001
PPV 前 PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	112.45±18.67	98.36±19.56	3.514	0.001
PPV 后 1 h PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	165.38±27.46	140.21±25.78	4.398	<0.001
心率(次/min)	101.23±5.88	104.56±13.78	1.782	0.078
动脉压(mmHg)	73.12±5.77	71.06±7.12	1.574	0.118
中心静脉压(mmHg)	10.97±2.11	12.01±2.41	2.233	0.028
NE 等效剂量(μg/kg/min)	0.24±0.07	0.29±0.10	2.968	0.004
PPV 后 1 h RVFAC(%)	36.95±4.57	33.12±5.01	3.848	<0.001
PPV 后 1 h TAPSE(mm)	16.87±1.89	14.67±1.95	5.444	<0.001
PPV 后 1 h PASP(mmHg)	38.45±5.12	44.67±5.89	5.491	<0.001
PPV 后 1 h RMPI	0.39±0.06	0.47±0.07	5.998	<0.001
PPV 后 1 h TAPSE/PASP(mm/mmHg)	0.44±0.07	0.32±0.06	8.404	<0.001

### 2.4 影响预后的多因素 Logistic 回归分析

将单因素分析中具有统计学意义的变量(APACHE II 评分、PPV 后 1 h PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>、NE 等效剂量、PPV 后 1 h RVFAC、TAPSE、PASP、RMPI、TAPSE/PASP)纳入多因素 Logistic 回归模型进行分析。结果显示, APACHE II 评分、RMPI、TAPSE/PASP、PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 均是影响预后的独立因素 ( $P < 0.05$ )。见表 4。

表 4 影响预后的多因素 Logistic 回归分析

自变量	B 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR 值	95%CI
APACHE II 评分	0.288	0.091	10.012	0.002	1.334	1.116~1.594
PPV 后 1 h PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub>	-0.032	0.017	3.543	0.049	0.969	0.937~1.000
PPV 后 1 h RMPI	1.653	0.646	6.549	0.010	5.221	1.472~18.520
PPV 后 1 h TAPSE/PASP	-0.815	0.241	11.451	0.001	0.443	0.276~0.710
常量	3.012	1.245	5.856	0.016	-	-

## 3 讨论

ARDS 合并休克患者病情危重, 死亡率极高。PPV 是改善中重度 ARDS 患者氧合和预后的重要

策略, 其核心机制在于可改善通气血流比和肺不均一性<sup>[11]</sup>。但研究<sup>[12-13]</sup>显示, PPV 对循环系统, 特别是右心功能的影响复杂且具有双面性: 一是可能通过改善氧合和降低肺血管阻力来减轻右心后负荷; 二是体位改变和胸腔压力变化也可能对前负荷和心肌收缩力产生不利影响。RV-PA 是评估右心功能适应其后负荷的关键指标, 其失调是 ARDS 患者预后的重要预测因子<sup>[14]</sup>。TEE 能够在 PPV 过程中实时、精准地评估右心结构和功能参数<sup>[15]</sup>。因此, 深入探讨 PPV 对 ARDS 合并休克患者右心功能及 RV-PA 耦合的即时影响, 并明确其预后价值, 对于指导个体化治疗和改善患者结局具有重要意义。

ARDS 合并休克患者常因低氧、高 PEEP 及炎症介质等因素导致肺血管阻力增高, 引发肺动脉高压, 从而增加右心室后负荷, 导致右心室扩大、功能不全, 即急性肺源性心脏病, 这是此类患者高死亡率的重要原因之一<sup>[16]</sup>。本研究发现, 较低的 TAPSE/PASP 比值证实了该人群普遍存在 RV-PA 解耦联和右心功能受损。同时发现, PPV 后 1 h, 患者 PASP 下降, TAPSE、RVFAC 改善, 右心室整体做功效率(RMPI)提升, 最终体现为 TAPSE/PASP 的升高。其机制主要在于: PPV 通过促进背侧肺泡复张, 改善了通气的均一性。肺泡复张不仅改善了氧合, 更关键的是降低低氧性肺血管收缩和机械性压迫对肺血管床的影响, 从而有效降低了 PVR 和 PASP, 为右心室卸下了沉重的后负荷包袱<sup>[17]</sup>。后负荷的减轻使得右心室收缩功能得到更有效的发挥, 心室做功效率提升, 最终实现了 RV-PA 耦合的再平衡<sup>[18]</sup>。本研究证实, 即使在合并休克的极端危重状态下, PPV 的这一血流动力学效应依然存在且即时起效。

本研究的核心发现在于, PPV 后 RV-PA 耦合的改善程度与患者 28 d 预后密切相关。单因素分析显示, 死亡组患者 PPV 后的 TAPSE、RVFAC、TAPSE/PASP 均低于生存组, 而 PASP 和 RMPI 则均更高。更重要的是, 多因素 Logistic 回归分析在调整了病情严重程度(APACHE II 评分)、氧合改善程度(PPV 后 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>)及血管活性药物用量等多种混杂因素后, PPV 后的 TAPSE/PASP 比值仍然是预后的独立保护因素, 表明对于 ARDS 合并休克患者, PPV 的疗效评估不应仅局限于观察氧合的改善。PPV 后右心功能及其与后负荷匹配关系的即时优化, 或许是其降低患者死亡风险的更深层机制<sup>[19]</sup>。TAPSE/PASP 比值作为一个无创、易于获取的超声参数, 能够敏感地捕捉到这种有益的生理学改变, 对于那些实施 PPV 后氧合改善但

TAPSE/PASP 比值未见明显升高的患者,可能提示其肺血管病变严重或右心功能储备极差,预后仍然不良,这类患者可能需要更积极的血流动力学支持,如联合肺血管扩张剂或右心室辅助装置<sup>[20]</sup>。此外,多因素分析中 APACHE II 评分作为独立危险因素,且 PPV 后 RMPI 作为独立危险因素,均与临床预期相符,分别反映了基础疾病严重性和右心室整体功能不全对预后的负面影响。值得注意的是,PPV 后 PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 在单因素分析中有意义,但在多因素模型中其效应被右心功能指标所覆盖,这进一步凸显了在评估 PPV 综合效应时,血流动力学指标可能比氧合指标具有更重要的预后价值。

综上,经食管超声心动图监测证实,俯卧位通气能即时改善 ARDS 合并休克患者的右心室-肺动脉耦合及右心功能。TAPSE/PASP 比值作为无创评估参数,不仅能有效反映 PPV 的血流动力学效应,其改善程度更是患者 28 d 预后的独立预测指标。

#### 参考文献

- [1] 任英杰. 通过电阻抗断层扫描评价俯卧位通气对不同肺通气灌注比的急性呼吸窘迫综合征患者影响的研究[D]. 南充: 川北医学院, 2023.
- [2] Gorman EA, O’Kane CM, McAuley DF. Acute respiratory distress syndrome in adults: diagnosis, outcomes, long-term sequelae, and management[J]. *The Lancet*, 2022, 400(10358): 1157–1170.
- [3] Yan Y, Geng B, Liang J, *et al.* A prediction model for nonresponsive outcomes in critically ill patients with acute respiratory distress syndrome undergoing prone position ventilation: a retrospective cohort study[J]. *Intensive and Critical Care Nursing*, 2025, 86: 103804.
- [4] Gohar A, Kirupaharan P, Amaral V, *et al.* A framework for developing a multidisciplinary approach to prone positioning in acute respiratory distress syndrome[J]. *Journal of Intensive Care Medicine*, 2023, 38(8): 702–709.
- [5] 张萃, 杨金亮, 徐霞, 等. 改良俯卧位通气对急性呼吸窘迫综合征机械通气患者氧合指数及皮肤压力性损伤的效果观察[J]. *北京中医药*, 2024, 43(11): 1266–1270.
- [6] Shi R, Ayed S, Moretto F, *et al.* Tidal volume challenge to predict preload responsiveness in patients with acute respiratory distress syndrome under prone position[J]. *Critical Care*, 2022, 26(1): 219.
- [7] Deng Q, Zhang B, Li W, *et al.* Changes of blood gas analysis in moderate-to-severe acute respiratory distress syndrome patients during long-term prone position ventilation: a retrospective cohort study[J]. *Annals of Translational Medicine*, 2023, 11(2): 86.
- [8] Birtane D, Çukurova Z, Aşar S, *et al.* The effect of prone position on right ventricular functions in CARDS: is survival predictable when evaluated through transesophageal echocardiography? [J]. *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*, 2025, 53(2): 53–61.
- [9] Evrard B, Woillard JB, Legras A, *et al.* Diagnostic, prognostic and clinical value of left ventricular radial strain to identify paradoxical septal motion in ventilated patients with the acute respiratory distress syndrome: an observational prospective multicenter study[J]. *Critical Care*, 2023, 27(1): 424.
- [10] 张龙玉, 梁连春, 马春华, 等. 脓毒症并发急性呼吸窘迫综合征患者血清 FGF21、SP-A 表达及其与预后的关系[J]. *临床和实验医学杂志*, 2023, 22(1): 8–12.
- [11] 董道然, 宗媛, 王艳, 等. 右心保护性通气策略在急性呼吸窘迫综合征患者中的应用: 一项前瞻性随机对照研究[J]. *中华危重症医学杂志(电子版)*, 2023, 16(6): 461–468.
- [12] Zhu S, Yu C, Wang H, *et al.* Acute respiratory distress syndrome secondary to carbon dioxide gas embolism after single-port robotic-assisted perineal radical prostatectomy: a case report[J]. *Translational Cancer Research*, 2022, 11(10): 3912–3918.
- [13] Cha S, Kim BS, Ha JS, *et al.* How to do it: a safe bedside protocol for dual-lumen right internal jugular cannulation for venovenous extracorporeal membrane oxygenation in COVID-19 patients with severe acute respiratory distress syndrome[J]. *ASAIO Journal*, 2023, 69(1): 31–35.
- [14] Tsolaki V, Zakyntinos GE, Karavidas N, *et al.* Comprehensive temporal analysis of right ventricular function and pulmonary haemodynamics in mechanically ventilated COVID-19 ARDS patients[J]. *Annals of Intensive Care*, 2024, 14(1): 25.
- [15] Nagiub M, Fares M, Ganigara M, *et al.* Value of time-resolved cardiac CT in children and young adults with congenital heart disease and infective endocarditis [J]. *Pediatric Cardiology*, 2024, 45(6): 1267–1274.
- [16] 方伯梁, 钱素云, 刘珺, 等. 静-动脉体外膜肺氧合成功治愈严重氯气中毒所致急性呼吸窘迫综合征及梗阻性休克一例[J]. *中国小儿急救医学*, 2023, 30(11): 874–876.
- [17] Dandel M. Monitoring of the right ventricular responses to pressure overload: prognostic value and usefulness of echocardiography for clinical decision-making[J]. *Cardiovascular Diagnosis and Therapy*, 2024, 14(1): 193–222.
- [18] Jani V, Kapoor K, Meyer J, *et al.* Unsupervised machine learning demonstrates the prognostic value of TAPSE/PASP ratio among hospitalized patients with COVID-19[J]. *Echocardiography*, 2022, 39(9): 1198–1208.
- [19] Cho N, Nakajima Y, Kubo S, *et al.* Comparison of left atrial appendage measurements between conventional transesophageal echocardiography and “Virtual TEE” reconstructed from computed tomography for pre-procedural planning of device closure [J]. *Heart and Vessels*, 2024, 39(6): 539–548.
- [20] Rong LQ, Menon A, Lopes AJ, *et al.* Left atrial strain quantification by intraoperative transesophageal echocardiography: validation with transthoracic echocardiography[J]. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 2022, 36(8): 2412–2417.

(收稿日期: 2025-09-30)

修回日期: 2025-11-27)