

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.19.001

文章编号: 1005-8982 (2025) 19-0001-08

呼吸窘迫综合征专题·论著

基于电阻抗断层成像技术设定呼气末正压对 急性呼吸窘迫综合征患者肺功能 及肺部并发症的影响*

马琼¹, 叶飞¹, 李臻阳¹, 牛毅¹, 童世君¹, 郎显泽¹, 潘纯², 李军³

(1. 青海大学附属医院 重症医学科, 青海 西宁 810000; 2. 四川省人民医院 重症医学科, 四川 成都 610000; 3. 青海红十字医院 重症医学科, 青海 西宁 810099)

摘要: **目的** 探讨在急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者中应用电阻抗断层成像(EIT)技术设定呼气末正压(PEEP)对ARDS患者肺功能及肺部并发症的影响。**方法** 选取2022年8月—2024年1月青海大学附属医院84例需要行机械通气的ARDS患者为研究对象,按照随机数字表法将患者分为对照组与研究组,每组42例。对照组采用传统的PEEP设定方法,研究组采用基于EIT技术导向PEEP设定方法。比较两组患者PEEP通气后0 h(T_0)、12 h(T_1)、24 h(T_2)、48 h(T_3)的血流动力学指标[平均动脉压(MAP)、心率(HR)],呼吸力学指标[静态肺顺应性(Cst)、动态肺顺应性(Cdyn)]及血气分析指标[氧合指数(OI)、动脉血pH值]变化情况,比较两组肺部并发症发生率、机械通气时间、重症监护病房住院时间及患者6个月生存率。**结果** 两组在 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时的MAP、HR比较,结果:①不同时间点MAP、HR比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);②实验组与对照组MAP、HR比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);③两组MAP、HR变化趋势比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。两组 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时Cst、Cdyn水平比较,结果:①不同时间点Cst、Cdyn水平比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);②对照组与研究组Cst、Cdyn水平比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$);③两组Cst、Cdyn水平变化趋势比较,差异均有统计学意义($P < 0.05$)。两组 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时OI水平比较,结果:①不同时间点OI水平差异有统计学意义($P < 0.05$);②对照组与研究组OI水平比较,差异有统计学意义($P < 0.05$);③两组OI水平变化趋势比较,差异有统计学意义($P < 0.05$)。两组 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时动脉血pH值比较,结果:①不同时间点动脉血pH值比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);②对照组与研究组动脉血pH值比较,差异无统计学意义($P > 0.05$);③两组动脉血pH值变化趋势比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。研究组并发症总发生率低于对照组($P < 0.05$)。研究组机械通气时间短于对照组($P < 0.05$)。**结论** 基于EIT技术设定PEEP能够显著改善ARDS患者的肺功能,降低患者治疗过程中肺部并发症的发生率,缩短患者机械通气时间,建议临床应用。

关键词: 急性呼吸窘迫综合征; 电阻抗断层成像; 呼气末正压; 肺功能; 肺部并发症

中图分类号: R563.8

文献标识码: A

Effect of setting positive end-expiratory pressure based on electrical impedance tomography on pulmonary function and pulmonary complications in patients with acute respiratory distress syndrome*

Ma Qiong¹, Ye Fei¹, Li Zhen-yang¹, Niu Yi¹, Tong Shi-jun¹, Lang Xian-ze¹, Pan Chun², Li Jun³

(1. Department of Intensive Care Medicine, Affiliated Hospital of Qinghai University, Xining, Qinghai 810000, China; 2. Department of Intensive Care Medicine, Sichuan Provincial People's Hospital,

收稿日期: 2025-04-11

* 基金项目: 青海省科技计划项目 (No: 2023-2K-721)

Chengdu, Sichuan 610000, China; 3. Department of Critical Care Medicine, Qinghai Red Cross Hospital, Xining, Qinghai 810099, China)

Abstract: Objective To investigate the effects of setting positive end-expiratory pressure (PEEP) based on electrical impedance tomography (EIT) technology on pulmonary function and pulmonary complications in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). **Methods** Eighty-four patients with ARDS requiring mechanical ventilation admitted to our hospital from August 2022 to January 2024 were selected as the study subjects and were divided into a study group (42 patients) and a control group (42 patients) using the random number table method. The control group used the traditional PEEP-setting method, and the study group used the EIT technology-based PEEP-setting method. The haemodynamic indexes [mean arterial pressure (MAP), heart rate (HR)], respiratory mechanics indexes [static lung compliance (Cst), dynamic compliance (Cdyn)], and blood gas analysis indexes [oxygenation index (OI), arterial blood pH] of the two groups of patients after optimal PEEP ventilation at 0 h (T_0), 12 h (T_1), 24 h (T_2), and 48 h (T_3) were compared. Changes in pulmonary complications, duration of mechanical ventilation, ICU stay, and patients' 6-month survival rate were compared between the two groups. **Results** Repeated measures analysis of variance showed that there were statistically significant differences in MAP and HR between the two groups at different time points ($P < 0.05$), but no significant differences were found between the study and control groups ($P > 0.05$). There were significant differences in Cst and Cdyn levels between and within the two groups at different time points ($P < 0.05$), and the trends of change were also significantly different ($P < 0.05$). Significant differences in OI levels were observed between and within the two groups at different time points ($P < 0.05$), with a significant difference in the trend of change ($P < 0.05$). No significant differences in arterial blood pH were found between or within the groups at different time points ($P > 0.05$). The incidence of complications in the study group was lower than that in the control group ($P < 0.05$). The duration of mechanical ventilation in the study group was shorter than that in the control group ($P < 0.05$). **Conclusion** Setting PEEP based on EIT technology can significantly improve the lung function of ARDS patients, reduce the incidence of pulmonary complications, shorten the duration of mechanical ventilation, and is recommended for clinical promotion and application.

Keywords: acute respiratory distress syndrome; electrical impedance tomography; positive end-expiratory pressure; lung function; pulmonary complications

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 的发病机制复杂, 通常以弥漫性肺泡损伤、失控性炎症反应致使肺泡-毛细血管膜通透性急剧升高为主要特征, 进而引发顽固的低氧血症与呼吸衰竭, 严重威胁患者生命健康, 患者预后较差^[1]。机械通气在 ARDS 治疗中占据核心地位, 呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 的设定是机械通气的关键环节^[2]。合适的 PEEP 水平能够有效维持患者肺泡开放, 减轻患者肺泡周期性塌陷与复张所造成的损伤, 改善患者氧合状况, 为肺组织的修复创造有利条件^[3]。传统的 PEEP 设置方法, 如依据经验公式、平台压监测或氧合指标调整等存在明显的局限性, 难以精确地符合每位患者个体化的肺力学特性与病理生理状态, 导致在临床实践中难以实现最佳的通气效果, 甚至可能因 PEEP 设置不当而引发气压伤、呼吸机相关性肺损伤等一系列严重并发症, 加重患

者病情^[4]。随着医学科技的不断发展, 电阻抗断层成像 (electrical impedance tomography, EIT) 技术在临床广泛应用。EIT 技术是一种基于生物组织电学特性差异, 以无创的方式对患者肺部通气分布进行可视化实时动态监测的方法, 该方法可清晰地呈现患者肺泡的塌陷与复张过程^[5]。有学者提出, EIT 技术有望突破传统方法的局限, 实现更优化的 PEEP 调节, 从而改善 ARDS 患者的肺功能, 减少肺部并发症的发生, 提高诊疗效果^[6]。鉴于此, 本研究通过深入探讨应用 EIT 技术设定 PEEP 对 ARDS 患者肺功能及肺部并发症的影响, 以期 EIT 的广泛应用提供更为科学、精准的理论依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 8 月—2024 年 1 月青海大学附属医院 84 例行机械通气的 ARDS 患者为研究对象, 按

照随机数字表法将患者分为对照组与研究组, 每组 42 例。纳入标准: ①符合 ARDS 柏林定义标准^[7]; ②临床症状表现为呼吸急促, 动脉血氧分压 (partial pressure of arterial oxygen, PaO₂) 持续下降; ③机械通气时间 >24 h; ④临床资料完整; ⑤患者及其家属均知晓同意本次研究。排除标准: ①合并严重的心脏疾病; ②存在胸部外伤或胸廓畸形; ③妊娠或哺乳期妇女; ④存在大量胸腔积液; ⑤近 期有肺部手术史或重大手术史。对照组与研究组

的年龄、性别构成、体质量指数 (body mass index, BMI)、急性生理学与慢性健康状况 II (acute physiologic and chronic health evaluation II, APACHE II) 评分、高血压患病率、糖尿病患病率、冠心病患病率及 ARDS 分级比较, 经 t/χ^2 检验, 差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 1。本研究已通过医院医学伦理委员会审批 (伦理批号: HSL1-2024 A03)。

表 1 两组基线资料比较 (n=42)

组别	年龄/ (岁, $\bar{x}\pm s$)	男/女/ 例	BMI/ (kg/m ² , $\bar{x}\pm s$)	APACHE II 评分 ($\bar{x}\pm s$)	基础疾病 例(%)			ARDS 分级 例(%)		
					高血压	糖尿病	冠心病	轻	中	重
对照组	63.24 ± 6.52	22/20	23.59 ± 1.22	21.22 ± 3.66	10(23.81)	7(16.67)	4(9.52)	19(45.24)	15(35.71)	8(19.05)
研究组	64.13 ± 6.67	24/18	23.47 ± 1.19	22.16 ± 3.80	9(21.43)	8(19.05)	6(14.29)	16(38.10)	17(40.48)	9(21.43)
t/χ^2 值	0.618	0.192	0.456	1.155	0.068	0.081	0.454	0.441		
P 值	0.538	0.661	0.649	0.252	0.794	0.776	0.500	0.802		

1.2 方法

两组均采用相同的基础治疗方案, 包括经口或者鼻气管插管接呼吸机辅助通气 (江苏蓝韵凯泰医疗设备有限公司, HVJ-880A+ 型)。设定潮气量 6 mL/kg、吸呼比 1:2、呼吸频率 20 次/min、PEEP 5 cmH₂O (1 cmH₂O =0.098 kPa)、氧浓度参数 100%。使用瑞芬太尼 [国药准字: H20030199, 宜昌人福药业有限责任公司, 规格: 2 mg (按 C₂₀H₂₈N₂O₅ 计)] 镇痛, 丙泊酚 (广东嘉博制药有限公司, 国药准字: H20051842, 规格: 20 mL: 200 mg) 镇静后给予维库溴铵肌松 (安徽威尔曼制药有限公司, 国药准字: H20084539, 规格: 4 mg)。患者取平卧位, PEEP 从 0 cmH₂O 递增至 15 cmH₂O, 每次增加 2 cmH₂O 维持 1~2 min, 记录 PEEP 下各参数。

1.2.1 对照组 采用传统的 PEEP 设定方法, 依据 PEEP- 吸入氧浓度 (fraction of inspiration oxygen,

FiO₂) 法设置 PEEP (见表 2), 维持 PaO₂ 在 60~80 mmHg, 氧饱和度 (peripheral oxygen saturation, SpO₂) 在 90%~95%, 记录该 PEEP 水平下各参数。

1.2.2 研究组 采用基于 EIT 技术导向 PEEP 滴定方法, 在患者上机后, 将杭州永川科技有限公司生产的 ECL-100 型 EIT 的 16 个电极片围绕患者胸廓的第 4、5 肋间水平位置固定, 连接 EIT 监测设备, 获取肺部电阻抗图像, 并将数据保存为 BIN 数据文件。根据图像中不同区域的通气分布情况, 确定肺泡塌陷和过度膨胀的区域。收集相关 EIT 数据, 并使用 EIT 数据软件打开 BIN 数据文件选择 PEEP。PEEP 设置: 其他参数不变, 逐步增加 PEEP, 每次增加 2 cmH₂O, 在每次调整 PEEP 后, 观察 EIT 图像中肺泡通气的改善情况, 以达到最佳的肺泡复张效果且避免过度膨胀为目标, 确定最佳 PEEP 值, 记录该 PEEP 下各参数。

表 2 PEEP 对照表

FiO ₂ /%	30	40	50	60	70	80	90	100
PEEP/(cmH ₂ O)	5	5	8~10	10	10~14	14	14~18	18~24

1.3 观察指标

1.3.1 两组不同时间点血流动力学指标 患者行最佳 PEEP 通气治疗后 0 h (T₀)、12 h (T₁)、24 h (T₂)、

48 h (T₃), 使用心电监护仪 (北京老同仁光电技术有限公司, AMR-401a 型) 监测患者的平均动脉压 (mean arterial pressure, MAP) 与心率 (heart rate, HR)。

1.3.2 两组不同时间点呼吸力学指标 患者行最佳 PEEP 通气治疗后 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 , 使用呼吸机(江苏蓝韵凯泰医疗设备有限公司, HVJ-880i 型)检测患者的静态肺顺应性(static lung compliance, Cst)和动态肺顺应性(dynamic lung compliance, Cdyn)。

1.3.3 两组不同时间点血气分析指标 患者行最佳 PEEP 通气治疗后 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 , 使用动脉血气分析仪(成都斯马特科技有限公司, SMT-120VP 型)记录患者的氧合指数(oxygenation index, OI)及动脉血 PH 值。OI = 动脉血氧分压/吸入氧浓度。

1.3.4 两组肺部并发症情况 记录患者气胸、肺部感染、肺不张、胸腔积液等并发症发生率。

1.3.5 两组患者的结局 记录患者机械通气时间、重症监护病房(intensive care unit, ICU)住院时间, 并对患者进行为期 6 个月的门诊复诊或电话随访, 记录患者入组后 6 个月生存率。

1.4 统计学方法

数据分析采用 SPSS 26.0 统计软件。计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示, 比较用 t 检验或重复测量设计的方差分析; 计数资料以构成比或率(%)表示, 比较用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者不同时间点血流动力学指标比较

两组患者 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时 MAP、HR 比较, 经重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点 MAP、HR 比较, 差异均有统计学意义($F = 22.069$ 和 79.251 , 均 $P = 0.000$); ②对照组与研究组 MAP、HR 比较, 差异均无统计学意义($F = 1.765$ 和 39.478 , 均 $P = 0.471$); ③两组 MAP、HR 变化趋势比较, 差异均无统计学意义($F = 8.062$ 和 18.506 , 均 $P = 0.002$)。见表 3、4 和图 1、2。

2.2 两组不同时间点呼吸力学指标比较

两组患者 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时 Cst、Cdyn 比较,

表 3 两组不同时间点 MAP 比较 ($n = 42$, mmHg, $\bar{x} \pm s$)

组别	T_0	T_1	T_2	T_3
对照组	74.46 ± 7.20	77.18 ± 7.44	$79.70 \pm 7.45^\dagger$	$79.81 \pm 7.72^\dagger$
研究组	74.31 ± 7.21	77.33 ± 7.39	$78.83 \pm 7.38^\dagger$	$79.21 \pm 7.43^\dagger$

注: † 与 T_0 时比较, $P < 0.05$ 。

表 4 两组不同时间点 HR 比较 ($n = 42$, 次/min, $\bar{x} \pm s$)

组别	T_0	T_1	T_2	T_3
对照组	62.54 ± 7.30	$80.32 \pm 7.65^\dagger$	$82.82 \pm 7.59^\dagger$	$81.89 \pm 7.82^\dagger$
研究组	62.14 ± 7.18	$80.06 \pm 7.58^\dagger$	$82.19 \pm 7.42^\dagger$	$81.26 \pm 7.69^\dagger$

注: † 与 T_0 时比较, $P < 0.05$ 。

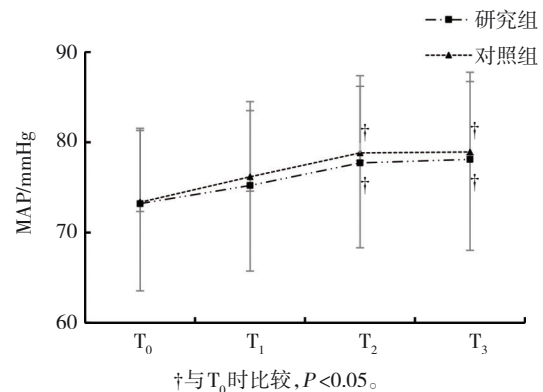


图 1 机械通气后 MAP 变化趋势图

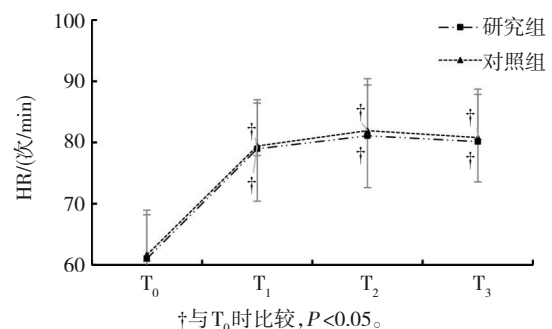


图 2 机械通气后 HR 变化趋势图

采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点 Cst、Cdyn 水平比较, 差异均有统计学意义($F = 47.956$ 和 62.447 , 均 $P = 0.000$); ②对照组与研究组 Cst、Cdyn 比较, 差异均有统计学意义($F = 69.594$ 和 50.087 , 均 $P = 0.000$), 研究组 T_1 、 T_2 、 T_3 时 Cst、Cdyn 均高于对照组, 相对呼吸功能改善情况较好; ③两组 Cst、Cdyn 变化趋势差异有统计学意义($F = 54.062$ 和 44.359 , 均 $P = 0.000$)。见表 5、6 和图 3、4。

2.3 两组不同时间点血气分析指标比较

两组患者 T_0 、 T_1 、 T_2 、 T_3 时 OI 比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点 OI 水平比较, 差异有统计学意义($F = 35.247$, $P = 0.000$); ②两组 OI 比较, 差异有统计学意义($F = 47.955$, $P = 0.000$), 研究组 T_1 、 T_2 、 T_3 时 OI 高于对照组, 相对血气指标改善情况较好; ③两组 OI 变化趋势比较, 差异有统计学意义($F = 33.795$, $P = 0.000$)。见表 7 和图 5。

表 5 两组不同时间点 Cst 比较 (n=42, mL/cmH₂O, $\bar{x} \pm s$)

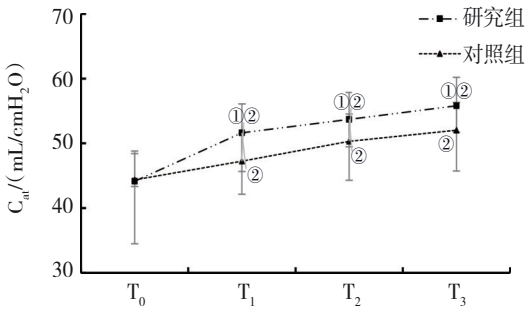
组别	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
对照组	44.36 ± 4.45	47.24 ± 4.28 ^①	50.32 ± 4.21 ^①	52.03 ± 4.28 ^①
研究组	44.15 ± 4.27	51.63 ± 4.46 ^{①②}	53.71 ± 4.15 ^{①②}	55.80 ± 4.39 ^{①②}
t 值	0.221	4.603	3.716	3.985
P 值	0.826	0.000	0.000	0.000

注：①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。

表 6 两组不同时间点 Cdyn 比较 (n=42, mL/cmH₂O, $\bar{x} \pm s$)

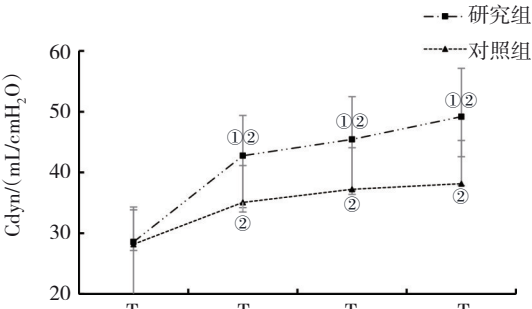
组别	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
对照组	28.18 ± 5.66	35.08 ± 6.05 ^①	37.24 ± 6.83 ^①	38.15 ± 7.11 ^①
研究组	28.56 ± 5.75	42.74 ± 6.64 ^{①②}	45.45 ± 7.02 ^{①②}	49.18 ± 7.96 ^{①②}
t 值	0.305	5.526	5.432	6.697
P 值	0.761	0.000	0.000	0.000

注：①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。



①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。

图 3 机械通气后 Cst 变化趋势图



①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。

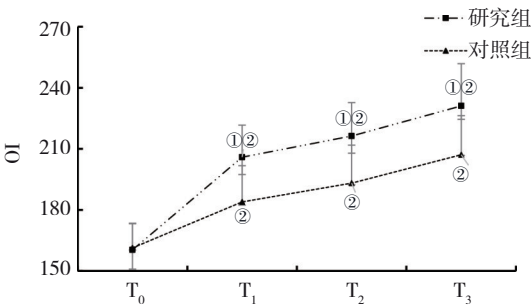
图 4 机械通气后 Cdyn 变化趋势图

表 7 两组不同时间点 OI 比较 (n=42, $\bar{x} \pm s$)

组别	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
对照组	161.33 ± 12.11	183.91 ± 17.81 ^①	193.18 ± 18.64 ^①	207.09 ± 19.21 ^①
研究组	160.39 ± 12.83	205.93 ± 15.73 ^{①②}	216.31 ± 16.42 ^{①②}	231.08 ± 20.77 ^{①②}
t 值	0.185	3.210	3.226	2.937
P 值	0.855	0.004	0.004	0.008

注：①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。

两组患者在T₀、T₁、T₂、T₃时动脉血pH值比较,采用重复测量设计的方差分析,结果:①不同时间点动脉血pH值比较,差异无统计学意义($F=3.065, P=0.195$);②对照组与研究组动脉血pH值比较,差异无统计学意义($F=2.774, P=0.351$);③两组动脉血pH值变化趋势比较,差异无统计学意义($F=0.956, P=0.665$)。见表8和图6。

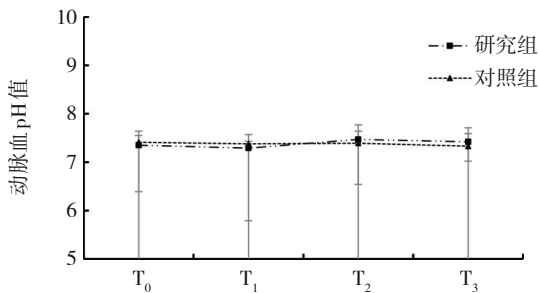


①与T₀时比较,P<0.05;②与对照组比较,P<0.05。

图 5 机械通气后 OI 变化趋势图

表 8 两组不同时间点动脉血 pH 值比较 (n=42, $\bar{x} \pm s$)

组别	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
对照组	7.41 ± 0.23	7.38 ± 0.19	7.39 ± 0.25	7.33 ± 0.26
研究组	7.35 ± 0.20	7.29 ± 0.14	7.47 ± 0.30	7.42 ± 0.29
t 值	1.276	0.072	1.328	1.498
P 值	0.206	0.943	0.188	0.138



①与T₀时比较, $P < 0.05$; ②与对照组比较, $P < 0.05$ 。

图 6 机械通气后动脉血 pH 值水平变化趋势图

2.4 两组肺部并发症发生率比较

两组肺部并发症总发生率比较, 经 χ^2 检验, 差异有统计学意义 ($\chi^2=4.086$, $P=0.043$); 研究组肺部并发症总发生率低于对照组。见表 9。

表 9 两组肺部并发症发生情况 例(%)

组别	气胸	肺部感染	肺不张	胸腔积液	总发生率
对照组	2(4.76)	1(2.38)	4(9.52)	1(2.38)	8(19.05)
研究组	0(0.00)	1(2.38)	0(0.00)	1(2.38)	2(4.76)

2.5 两组结局比较

两组机械通气时间比较, 经 t 检验, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 研究组机械通气时间短于对照组。两组 ICU 住院时间和 6 个月生存率比较, 经 t 或 χ^2 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 10。

表 10 两组机械通气、ICU 住院时间及 6 个月生存率比较

组别	机械通气时间/ (h, $\bar{x} \pm s$)	ICU 住院时间/ (d, $\bar{x} \pm s$)	6 个月生存率 例(%)
对照组	84.74 ± 8.37	7.52 ± 2.46	35(83.33)
研究组	77.20 ± 9.09	7.16 ± 2.25	39(92.86)
t/ χ^2 值	3.955	0.700	1.816
P 值	0.000	0.486	0.178

3 讨论

ARDS 患者肺泡大量塌陷和肺实变, 导致肺内

分流增加, 氧合功能严重受损^[8]。PEEP 的应用能够增加 ARDS 患者肺泡内压, 防止 ARDS 患者呼气末肺泡塌陷, 促进肺泡复张, 从而改善患者氧合^[9]。然而, 过高的 PEEP 可能会导致 ARDS 患者肺泡过度膨胀, 引起气压伤和循环抑制等并发症, 而过低的 PEEP 则无法有效维持 ARDS 患者肺泡开放, 进而影响患者氧合改善^[10]。因此, 寻找最佳的 PEEP 值对于 ARDS 患者的治疗至关重要。传统的 PEEP 设置方法主要依赖于动脉血气分析、平台压等指标的监测, 但这些指标往往不能准确反映 ARDS 患者肺部不同区域的通气情况, 导致患者在治疗过程中肺部并发症发生率较高^[11]。EIT 技术是一种非侵入性的成像技术, 其通过在物体表面施加安全的微弱交流电, 测量物体表面的电位分布, 然后利用特定的重建算法来反演物体内部的电阻抗分布图像, 该技术通过对患者肺部电阻抗的监测, 能够实时显示患者肺部通气的分布和变化, 可直观反映患者肺泡的塌陷和复张过程^[12]。有研究发现, 基于 EIT 技术设定 PEEP, 可以根据患者肺部的个体化特征, 精准地调整 PEEP, 使更多的肺泡处于最佳的开放状态, 减少肺泡塌陷和过度膨胀的发生^[13]。近年来多项研究表明, 基于 EIT 设定 PEEP 应用于 ARDS 患者治疗较传统 PEEP 设置方法更具有优势^[14-16]。

本研究结果显示, 两组患者在 T₀、T₁、T₂、T₃ 时的 MAP、HR、动脉血 pH 值等参数均无明显变化, 表明应用 EIT 设定 PEEP 对患者的血流动力学及动脉血 pH 值无明显影响。MI 等^[17]也发现 EIT 法设定 PEEP 对患者全身血流动力学影响较小, 该结论与本结果基本一致。其原因可能是 EIT 技术设定增加的 PEEP 值不足引起 ARDS 患者血流动力学改变; 但本研究纳入的 ARDS 样本量较少, 可能导致结果存在一定偏倚。本研究结果发现, T₁、T₂、T₃ 时两组患者 Cst、Cdyn、OI 升高, 且研究组 T₁、T₂、T₃ 时 Cst、Cdyn、OI 高于对照组, 表明 EIT 技术在 ARDS 患者的机械通气治疗中具有重要的应用价值。与 MAURI 等^[18]发现基于 EIT 技术设定 PEEP 可显著改善患者呼吸系统顺应性的研究结果相似。分析原因为, EIT 技术能够实时监测 ARDS 患者肺部通气分布, 精准确定患者肺泡塌陷与过度膨胀区域, 从而实现个体化的 PEEP 设置, 合适的 PEEP 可有效防止患者呼气末肺泡塌陷, 维持肺泡开放, 使更多肺泡参与气体交

换,进而提升患者 $OI^{[19-20]}$ 。另外,肺泡的稳定开放状态有助于改善患者肺的弹性回缩力,减少患者呼吸过程中克服弹性阻力所需的压力变化,使得患者 Cst 及 $Cdyn$ 升高^[21-22]。相比之下,传统的 PEEP 设定方法难以精准匹配患者个体化的肺力学特征,可能导致患者部分肺泡未能充分开放或过度膨胀,从而影响了患者肺的通气和换气功能^[23]。本研究结果发现,两组通气后各时间点动脉血 pH 值无差异,提示不同的 PEEP 设定方式在不同时间点对患者酸碱平衡未产生影响。分析原因为,两组可能在一定程度上维持了患者通气与换气功能的相对稳定,未因 PEEP 水平不同引发严重的二氧化碳潴留或过度通气,使患者动脉血中碳酸与碳酸氢根的比例相对恒定,从而保持 pH 值稳定^[13]。

本研究结果显示,研究组并发症发生率低于对照组,表明基于 EIT 技术设定 PEEP 可有效降低 ARDS 患者肺部并发症风险,对改善患者预后具有积极意义。分析原因为,精准的 PEEP 可避免患者肺泡过度膨胀引发气压伤,减少气胸发生;同时维持患者肺泡稳定开放,利于患者气道分泌物引流,降低患者肺部感染概率;精准的 PEEP 还可防止患者肺泡反复塌陷复张造成的肺损伤,减少肺不张等并发症,而传统的 PEEP 设定方法因 PEEP 设置缺乏精准性,难以平衡肺泡开放与损伤风险,导致患者肺部并发症发生率较高^[24]。本研究结果发现,与对照组相比,研究组机械通气时间缩短,两组 ICU 住院时间及 6 个月生存率无差异。其原因为基于 EIT 技术设定 PEEP 可显著提高 ARDS 患者机械通气效率,更快改善患者肺功能,从而有效缩短患者机械通气时长。

综上所述,在 ARDS 患者机械通气治疗中应用基于 EIT 技术设定 PEEP,可显著改善患者呼吸力学,缩短患者机械通气时间,降低肺部并发症发生率,且对患者血流动力学无显著影响。未来可进一步扩大样本量,进行多中心、长期的研究,以更全面地评估基于 EIT 技术设定 PEEP 对 ARDS 患者的影响。

参 考 文 献:

- [1] SLOBOD D, DAMIA A, LEALI M, et al. Pathophysiology and clinical meaning of ventilation-perfusion mismatch in the acute respiratory distress syndrome[J]. *Biology (Basel)*, 2022, 12(1): 67.
- [2] 马效禹, 范得慧, 王威威. 电阻抗断层成像技术用于呼气末正压滴定的研究进展[J]. *临床麻醉学杂志*, 2024, 40(2): 185-189.
- [3] 于汝, 梁启胜, 刘磊, 等. 胸腔镜下老年肺癌患者术中脑氧饱和度变化与 PEEP 水平相关性的研究[J]. *中华全科医学*, 2021, 19(2): 189-192.
- [4] JONKMAN A H, ALCALA G C, PAVLOVSKY B, et al. Lung recruitment assessed by electrical impedance tomography (RECRUIT): a multicenter study of COVID-19 acute respiratory distress syndrome[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2023, 208(1): 25-38.
- [5] 宋娜, 易茜, 姚勇刚, 等. 基于电阻抗断层成像(EIT)技术监测加味厚朴大黄汤治疗中重度 ARDS 患者的疗效评价[J]. *中国实验方剂学杂志*, 2024, 30(9): 108-115.
- [6] 夏倩, 李喆, 陈剑潇, 等. 电阻抗断层成像在急性呼吸窘迫综合征中的研究进展[J]. *中华急诊医学杂志*, 2021, 30(7): 912-914.
- [7] ARDS Definition Task Force, RANIERI V M, RUBENFELD G D, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. *JAMA*, 2012, 307(23): 2526-2533.
- [8] 曾小良, 王江伟, 玉佳宁, 等. 脓毒症相关急性呼吸窘迫综合征患者 T 淋巴细胞免疫功能状态研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2025, 35(3): 55-62.
- [9] FRANCHINEAU G, CHOMMELOUX J, PINETON de CHAMBRUN M, et al. Electrical impedance tomography monitoring of bronchoalveolar lavage in patients with acute respiratory distress syndrome[J]. *Crit Care Med*, 2022, 50(3): e231-e240.
- [10] JIMENEZ J V, MUNROE E, WEIRAUCH A J, et al. Electric impedance tomography-guided PEEP titration reduces mechanical power in ARDS: a randomized crossover pilot trial[J]. *Crit Care*, 2023, 27(1): 21.
- [11] HEINES S J H, BECHER T H, van der HORST I C C, et al. Clinical applicability of electrical impedance tomography in patient-tailored ventilation: a narrative review[J]. *Tomography*, 2023, 9(5): 1903-1932.
- [12] HE H W, CHI Y, YANG Y Y, et al. Early individualized positive end-expiratory pressure guided by electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled clinical trial[J]. *Crit Care*, 2021, 25(1): 230.
- [13] SONGSANGVORN N, XU Y H, LU C, et al. Electrical impedance tomography-guided positive end-expiratory pressure titration in ARDS: a systematic review and meta-analysis[J]. *Intensive Care Med*, 2024, 50(5): 617-631.
- [14] GIBOT S, CONRAD M, COURTE G, et al. Positive end-expiratory pressure setting in COVID-19-Related acute respiratory distress syndrome: comparison between electrical impedance tomography, PEEP/FiO₂ tables, and transpulmonary pressure[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 720920.
- [15] SCARAMUZZO G, SPADARO S, SPINELLI E, et al. Calculation of transpulmonary pressure from regional ventilation displayed by electrical impedance tomography in acute respiratory distress syndrome[J]. *Front Physiol*, 2021, 12:

- 693736.
- [16] CARDINALE M, BOUSSEN S, CUNGI P J, et al. Lung-dependent areas collapse, monitored by electrical impedance tomography, may predict the oxygenation response to prone ventilation in COVID-19 acute respiratory distress syndrome[J]. Crit Care Med, 2022, 50(7): 1093-1102.
- [17] MI L Y, CHI Y, YUAN S Y, et al. Effect of prone positioning with individualized positive end-expiratory pressure in acute respiratory distress syndrome using electrical impedance tomography[J]. Front Physiol, 2022, 13: 906302.
- [18] MAURI T, GRIECO D L, SPINELLI E, et al. Personalized positive end-expiratory pressure in spontaneously breathing patients with acute respiratory distress syndrome by simultaneous electrical impedance tomography and transpulmonary pressure monitoring: a randomized crossover trial[J]. Intensive Care Med, 2024, 50(12): 2125-2137.
- [19] 施伶俐, 赵龙德, 张莉, 等. 肺动态顺应性指导个体化 PEEP 滴定对颅面重建术患儿术后肺不张的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(7): 683-687.
- [20] 王继文, 庄猛, 单蓓莹, 等. 肺复张联合个体化 PEEP 策略对腹腔镜手术老年患者术后肺不张程度的影响[J]. 中华麻醉学杂志, 2024, 44(2): 150-154.
- [21] S V BARBAS C, BP AMATO M. Electrical impedance tomography to titrate PEEP at bedside in ARDS[J]. Respir Care, 2022, 67(8): 1061-1063.
- [22] 袁思依, 何怀武, 隆云. 急性呼吸窘迫综合征时 PEEP 设置: 从氧合顺应性到 EIT 局部呼吸生理指标[J]. 中华重症医学电子杂志, 2024, 10(2): 102-107.
- [23] 陈琼仪, 马楚洲, 罗秀芝, 等. 肺超声监测 PEEP 递增肺复张对老年人腹腔镜结直肠癌根治术后肺不张的影响[J]. 重庆医学, 2023, 52(12): 1800-1805.
- [24] SHONO A, KOTANI T, FRERICHS I. Personalisation of therapies in COVID-19 associated acute respiratory distress syndrome, using electrical impedance tomography[J]. J Crit Care Med (Targu Mures), 2021, 7(1): 62-66.

(张西倩 编辑)

本文引用格式: 马琼, 叶飞, 李臻阳, 等. 基于电阻抗断层成像技术设定呼气末正压对急性呼吸窘迫综合征患者肺功能及肺部并发症的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(19): 1-8.

Cite this article as: MA Q, YE F, LI Z Y, et al. Effect of setting positive end-expiratory pressure based on electrical impedance tomography on pulmonary function and pulmonary complications in patients with acute respiratory distress syndrome[J]. China Journal of Modern Medicine, 2025, 35(19): 1-8.