

# 振动反应成像技术在 ARDS 患者 PEEP 设置中的应用



扫码阅读电子版

王丽<sup>1</sup> 宋宁宁<sup>2</sup> 刘云<sup>1</sup> 谭焰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>南京医科大学附属南京医院（南京市第一医院）呼吸与危重症医学科 210006；

<sup>2</sup>南京医科大学附属南京医院（南京市第一医院）设备科 210006

通信作者：谭焰，Email:tanyan1970@126.com

**【摘要】 目的** 探讨振动反应成像技术（VRI）在急性呼吸窘迫综合征（ARDS）患者呼气末正压（PEEP）设置中的作用和临床疗效观察。**方法** 30 例 ARDS 患者在肺复张后，以随机数字表法随机采用 ARDSnet 法、最佳顺应性法和 VRI 法设置 PEEP。比较 3 组患者在治疗 0、24、48、72 h 呼吸力学、血流动力学和血管外肺水的变化。**结果** PEEP<sub>Cst</sub> 为（12.6 ± 2.7）cmH<sub>2</sub>O（1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa），PEEP<sub>VRI</sub> 为（13.0 ± 2.5）cmH<sub>2</sub>O，两者差异无统计学意义，但明显高于 PEEP<sub>ARDSnet</sub> [(9.6 ± 2.1) cmH<sub>2</sub>O,  $P < 0.05$ ]。治疗 72 h 后，ARDSnet 组肺顺应性无明显变化，VRI 组和最佳顺应性组在 24 h 后逐渐增高，且明显高于 ARDSnet 组。3 组治疗后氧合指数均显著升高，且 VRI 组显著高于 ARDSnet 组（ $P < 0.05$ ）。治疗前后 3 组心率、中心静脉压、平均动脉压和心指数无明显改变。血管外肺水指数和肺血管通透性指数在 72 h 均显著降低，最佳顺应性组和 VRI 组的血管外肺水指数较 ARDSnet 组降低更明显。**结论** VRI 法设置的 PEEP 可以提高 ARDS 患者肺顺应性，改善氧合，降低血管外肺水，且对血流动力学无不良影响。

**【关键词】** 振动反应成像；呼吸窘迫综合征，成人；正压呼吸；血管外肺水

**基金项目：**南京市卫生局科技发展重点项目（ZKX15025）

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.03.010

## Effects of vibration response imaging on positive end-expiratory pressure setting in patients with acute respiratory distress syndrome

Wang Li<sup>1</sup>, Song Ningning<sup>2</sup>, Liu Yun<sup>1</sup>, Tan Yan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Respiratory and Critical Care Medicine, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China; <sup>2</sup>Equipment Section, Nanjing First Hospital, Nanjing Medical University, Nanjing 210006, China

Corresponding author: Tan Yan, Email:tanyan1970@126.com

**【Abstract】 Objective** To explore the feasibility of vibration response imaging (VRI) on positive end-expiratory pressure (PEEP) in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). **Methods** Total thirty patients with ARDS were studied. PEEP was randomly assigned to the ARDSnet method, the best compliance method, and the VRI method after lung recruitment. The changes of respiratory mechanics, hemodynamics and extravascular lung water were compared among the three groups at 0 h, 24 h, 48 h and 72 h. **Results** PEEP<sub>Cst</sub> was (12.6 ± 2.7) cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa), and PEEP<sub>VRI</sub> was (13.0 ± 2.5) cmH<sub>2</sub>O. There was no significant difference between them, but they were significantly higher than PEEP<sub>ARDSnet</sub> [(9.6 ± 2.1) cmH<sub>2</sub>O,  $P < 0.05$ ]. There was no significant change in lung compliance in the ARDSnet group after 72 hours of treatment. The lung compliance of VRI group and the best compliance group gradually increased after 24 hours, and was significantly higher than that of the ARDSnet group. The oxygenation index of the three groups was significantly increased after treatment, and the oxygenation index of the VRI group was significantly higher than that of the ARDSnet group ( $P < 0.05$ ). There were no significant changes in heart rate, central venous pressure, mean arterial pressure, and cardiac index among the three groups before and after treatment. Extravascular lung water index and pulmonary vascular permeability index were significantly lower at 72 h, and extravascular lung water index in the best compliance group and VRI group was significantly lower

than that in the ARDSnet group. **Conclusions** PEEP setting by VRI can improve lung compliance and oxygenation, reduce extravascular lung water, and have no adverse effects on hemodynamics.

**【Key words】** Vibration response imaging; Respiratory distress syndrome, Adult; Positive-pressure respiration; Extravascular lung water

**Fund program:** Nanjing Medical Science and Technology Development Project (ZKX15025)

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-436X.2019.03.010

振动反应成像 (vibration response imaging, VRI) 技术是通过收集呼吸时气流经过人体肺部产生的振动信息, 以计算机辅助成像, 直观地表现出来<sup>[1]</sup>。目前主要用于呼吸系统疾病的诊断、手术评估、ICU 床旁监测等。有研究显示<sup>[2]</sup>, 机械通气患者呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 改变时, VRI 可监测到肺内气流分布的变化, 且与肺顺应性有关, 顺应性较差的区域气流分布减少, 监测结果有很好的可重复性, 提示 VRI 技术可用于指导 ARDS 患者的 PEEP 设置。本研究观察了床旁 VRI 法设置的 PEEP 对 ARDS 患者的临床疗效。

## 1 对象与方法

**1.1 研究对象** 选取 2015 年 1 月至 2017 年 12 月入住南京医科大学附属南京医院 RICU 的 ARDS 患者。入选标准: 年龄范围为 18~75 岁, 性别不限, 符合 2012 年柏林 ARDS 诊断标准<sup>[3]</sup>, 需进行有创机械通气者。排除标准: 血流动力学不稳定、颅内高压、气胸、大量胸腔积液、支气管胸膜瘘、胸廓畸形、皮肤损伤、妊娠、安置起搏器及 2 个以上肺外器官功能障碍者。

本研究通过南京医科大学附属南京医院伦理委员会批准, 受试者或家属签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 基础机械通气** 患者气管插管后, 接 Hamilton G5 呼吸机实施有创机械通气, 基础参数设置: 容量控制通气, 潮气量 6 ml/kg, 呼吸频率 20 次/min, 吸呼比 1:2, 根据 ARDSnet 方法设定 PEEP。颈内静脉及股动脉穿刺置管, 行脉搏指示连续心排血量监测, 所有患者充分镇痛、镇静, 必要时肌松。

**1.2.2 PEEP 设置** 肺复张后, 采用随机数字表法将患者随机分入 ARDSnet 组、最佳顺应性组和 VRI 组。(1) ARDSnet 组<sup>[4]</sup>: 采用 ARDSnet 设计的 PEEP/吸入氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO<sub>2</sub>) 配对组合表查表得到 PEEP (PEEP<sub>ARDSnet</sub>)。(2) 最佳顺应性组: PEEP 自 20 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O = 0.098 kPa) 逐渐递减, 每次递减 2 cmH<sub>2</sub>O, 通气 10 min, 直至 0 cmH<sub>2</sub>O。

在 PEEP 递减过程中, 计算静态肺顺应性 = 潮气量 / (平台压 - PEEP), 当肺顺应性达到最大时对应的 PEEP 为最佳 PEEP (PEEP<sub>Cst</sub>)。(3) VRI 组: PEEP 自 20 cmH<sub>2</sub>O 逐渐递减, 每次递减 2 cmH<sub>2</sub>O, 通气 10 min, 直至 0 cmH<sub>2</sub>O。在 PEEP 递减过程中, 采用 VRI<sub>xp</sub> 设备 (Deep Breeze, 以色列 Or-Akiva), 床旁实时记录不同 PEEP 水平时患者的 VRI 图像。用下面的公式计算患者图像的肺部定量数值 (quantitative lung data, QLD) 的异常度<sup>[5]</sup>, 即与正常预计值的偏离程度, 以 QLD 异常度最小时对应的 PEEP 为最佳

PEEP (PEEP<sub>VRI</sub>)。QLD 异常度 =  $\frac{(a-A)^2}{A} + \frac{(b-B)^2}{B} + \frac{(c-C)^2}{C} + \frac{(d-D)^2}{D} + \frac{(e-E)^2}{E} + \frac{(f-F)^2}{F}$ , 公式中 a、b、c、d、e、f 分别为患者

VRI 图像的右上、右中、右下、左上、左中、左下区域的 QLD 值, A、B、C、D、E、F 为对应区域的正常预计值, 以前期研究的健康志愿者 QLD 均值为标准: 分别为 8、15、21、12、20、24<sup>[6]</sup>。

**1.2.3 肺复张** 采用压力控制法实施肺复张<sup>[7]</sup>。模式设置为压力控制通气, FiO<sub>2</sub> 为 100%, 调节支持压力和 PEEP, 使吸气峰压达到 45 cmH<sub>2</sub>O, 持续 2 min。

肺复张过程中如出现以下情况立即终止: 收缩压低于 90 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa) 或较基础状态下降 30 mmHg; 心率 > 140 次/min 或增加 > 20 次/min; 血氧饱和度 < 90% 或较基础降低 5% 以上; 出现新发的心律失常。

**1.2.4 监测指标** 3 组患者实施肺复张后根据各自的 PEEP 进行通气。在 PEEP 治疗 0、24、48、72 h 分别监测动态肺顺应性、心率、平均动脉压、中心静脉压、心指数、血管外肺水指数 (extravascular lung water index, ELWI)、肺血管通透性指数 (pulmonary vascular permeability index, PVPI) 和氧合指数等。

**1.3 统计学分析** 应用 SPSS 17.0 统计软件。计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 组间资料的比较采用方差分

析；计数资料采用  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 患者的一般情况** 符合入选标准的 30 例 ARDS 患者，男 19 例，女 11 例，其中重症肺炎患者 25 例，严重全身感染患者 5 例。3 组患者的基础资料比较差异无统计学意义（表 1）。

**2.2 3 组患者的 PEEP 值比较** PEEP<sub>ARDSnet</sub> 为  $(9.6 \pm 2.1)$  cmH<sub>2</sub>O，PEEP<sub>Cst</sub> 为  $(12.6 \pm 2.7)$  cmH<sub>2</sub>O，PEEP<sub>VRI</sub> 为  $(13.0 \pm 2.5)$  cmH<sub>2</sub>O。PEEP<sub>Cst</sub> 和 PEEP<sub>VRI</sub> 比较差异无统计学意义，但均显著高于 PEEP<sub>ARDSnet</sub> ( $P < 0.05$ )。

**2.3 3 组患者的肺顺应性和氧合指数比较** 肺复张后，应用 3 种方法设置的 PEEP 进行通气 72 h。与治疗 0 h 比较，ARDSnet 组的动态肺顺应性无明显变化，而 VRI 组和最佳顺应性组在 24 h 后逐渐增高，且明显高于 ARDSnet 组 ( $P < 0.05$ )。见表 2。

与 0 h 比较，治疗 24 h 后 3 组患者的氧合指数均明显升高 ( $P$  值均  $< 0.05$ )；3 组之间比较显示，VRI 组氧合指数显著高于 ARDSnet 组 ( $P <$

0.05)。见表 3。

**2.4 3 组患者血流动力学参数和 ELWI 比较** 血流动力学参数显示，3 组患者的心率、中心静脉压、平均动脉压和心指数在治疗前后均无明显改变 ( $P$  值均  $> 0.05$ )。见表 4~7。

与 0 h 比较，治疗 72 h 后 3 组患者的 ELWI 和 PVPI 均显著降低 ( $P$  值均  $< 0.05$ )。组间比较显示，最佳顺应性组和 VRI 组的 ELWI 较 ARDSnet 组降低更明显，而 PVPI 差异无统计学意义。见表 8、9。

## 3 讨论

肺保护性通气是 ARDS 主要的通气治疗手段，即采用小潮气量避免呼吸机相关性肺损伤，同时应用肺复张手法开放塌陷的肺泡，肺泡复张后选择合适水平的 PEEP 维持肺开放，防止肺泡再次塌陷<sup>[8]</sup>。因此，肺复张后使用恰当的 PEEP 是维持肺复张效应和减轻 ARDS 肺损伤的关键。

目前 PEEP 的设置方法尚未统一。ARDSnet 发布的根据 PEEP/FiO<sub>2</sub> 表格来设置 PEEP 是最简单快捷的方法，但缺乏个体化。静态最佳顺应性法

表 1 3 组 ARDS 患者的一般资料

组别	例数	性别 (例)		年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$ )	APACHE II 评分 (分, $\bar{x} \pm s$ )	病因 (例)	
		男	女			肺部感染	全身性感染+肺部感染
ARDSnet 组	10	6	4	67.9±5.6	22.5±5.5	8	2
最佳顺应性组	10	7	3	67.3±7.1	23.5±5.9	9	1
VRI 组	10	6	4	67.7±5.8	23.6±5.0	8	2
统计值		$\chi^2 = 0.287$		$F = 0.024$	$F = 0.011$	$\chi^2 = 0.480$	
$P$ 值		0.866		0.976	0.896	0.787	

注：ARDS 为急性呼吸窘迫综合征；VRI 为振动反应成像

表 2 3 组 ARDS 患者动态肺顺应性的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	动态肺顺应性 (ml/cmH <sub>2</sub> O)				$F$ 值	$P$ 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	28.0±5.9	32.4±6.4	32.0±7.7	34.0±7.0	1.411	0.256
最佳顺应性组	10	30.2±5.2	37.2±8.9 <sup>b</sup>	42.0±10.8 <sup>ab</sup>	45.5±8.8 <sup>abc</sup>	5.855	0.002
VRI 组	10	28.4±5.8	40.7±7.6 <sup>ab</sup>	46.6±5.1 <sup>abc</sup>	49.5±7.0 <sup>abc</sup>	20.976	0.000
$F$ 值		0.429	2.948	8.237	11.086		
$P$ 值		0.655	0.069	0.002	0.000		

注：ARDS 为急性呼吸窘迫综合征；VRI 为振动反应成像；与 ARDSnet 组比较，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 0 h 比较，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 24 h 比较，<sup>c</sup> $P < 0.05$ ；1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa

表 3 3 组 ARDS 患者氧合指数的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	氧合指数 (mmHg)				$F$ 值	$P$ 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	117.6±27.2	165.1±26.3 <sup>b</sup>	160.0±29.1 <sup>b</sup>	182.7±43.1 <sup>b</sup>	7.368	0.001
最佳顺应性组	10	112.4±27.8	191.7±40.8 <sup>b</sup>	198.4±48.9 <sup>b</sup>	236.9±51.1 <sup>bc</sup>	14.682	0.000
VRI 组	10	115.0±25.2	215.0±66.2 <sup>ab</sup>	210.7±57.3 <sup>ab</sup>	248.4±78.0 <sup>ab</sup>	9.145	0.000
$F$ 值		0.092	2.773	3.220	3.506		
$P$ 值		0.912	0.080	0.056	0.044		

注：ARDS 为急性呼吸窘迫综合征；VRI 为振动反应成像；与 ARDSnet 组比较，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 0 h 比较，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 24 h 比较，<sup>c</sup> $P < 0.05$ ；1 mmHg=0.133 kPa

表 4 3组 ARDS 患者心率的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	心率 (次/min)				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	80.4±15.3	80.7±13.5	81.1±16.1	79.5±15.7	0.020	0.996
最佳顺应性组	10	80.3±16.9	80.7±14.6	78.5±15.1	79.8±16.0	0.037	0.990
VRI 组	10	77.1±14.3	81.3±11.2	79.6±16.8	77.2±15.5	0.193	0.900
F 值		0.146	0.007	0.066	0.082		
P 值		0.856	0.993	0.936	0.922		

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; VRI 为振动反应成像

表 5 3组 ARDS 患者中心静脉压的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	中心静脉压 (mmHg)				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	5.1±1.0	5.1±1.4	5.0±2.4	5.0±1.8	0.011	0.998
最佳顺应性组	10	5.2±1.8	5.3±1.3	4.9±1.5	5.1±1.9	0.112	0.952
VRI 组	10	4.9±1.5	5.1±1.5	5.1±1.3	5.1±0.7	0.058	0.981
F 值		0.110	0.072	0.031	0.014		
P 值		0.896	0.931	0.970	0.986		

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; VRI 为振动反应成像; 1 mmHg=0.133 kPa

表 6 3组 ARDS 患者平均动脉压的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	平均动脉压 (mmHg)				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	79.9±10.0	78.6±8.2	79.6±9.2	81.1±10.0	0.120	0.948
最佳顺应性组	10	79.1±11.5	81.3±7.6	80.3±10.3	80.1±8.5	0.088	0.966
VRI 组	10	82.4±9.5	80.9±7.8	81.0±7.3	82.4±10.0	0.091	0.964
F 值		0.275	0.342	0.060	0.146		
P 值		0.762	0.713	0.942	0.865		

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; VRI 为振动反应成像; 1 mmHg=0.133 kPa

表 7 3组 ARDS 患者心指数的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	心指数				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	3.0±0.3	2.8±0.5	2.9±0.4	2.9±0.6	0.267	0.846
最佳顺应性组	10	3.1±0.5	2.8±0.4	3.0±0.4	3.0±0.5	0.663	0.580
VRI 组	10	3.1±0.5	3.0±0.4	3.1±0.4	3.0±0.4	0.310	0.818
F 值		0.349	0.515	0.487	0.137		
P 值		0.709	0.603	0.620	0.873		

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; VRI 为振动反应成像

表 8 3组 ARDS 患者血管外肺水指数的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	血管外肺水指数 (ml/kg)				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	20.5±2.1	19.6±2.2	18.9±3.0	17.5±3.2 <sup>b</sup>	2.536	0.072
最佳顺应性组	10	20.2±3.8	18.4±3.5	17.6±2.8	14.2±3.6 <sup>abcd</sup>	5.210	0.004
VRI 组	10	20.3±2.6	19.5±3.2	17.5±2.9 <sup>b</sup>	12.5±2.7 <sup>abcd</sup>	14.89	0.000
F 值		0.025	0.492	0.126	6.375		
P 值		0.975	0.617	0.882	0.005		

注: ARDS 为急性呼吸窘迫综合征; VRI 为振动反应成像; 与 ARDSnet 组比较, <sup>a</sup> $P < 0.05$ ; 与 0 h 比较, <sup>b</sup> $P < 0.05$ ; 与 24 h 比较, <sup>c</sup> $P < 0.05$ ; 与 48 h 比较, <sup>d</sup> $P < 0.05$

是目前公认较为科学的 PEEP 设置方法, 即在 PEEP 递减过程中以最佳顺应性来设置 PEEP, 比较符合 ARDS 患者的病理生理改变, 但操作步骤相对复杂, 且患者需要镇静肌松, 对血流动力学可能会有不良影响。本研究采用床旁 VRI 技术, 操

作简便, 在 PEEP 滴定过程中, 计算 QLD 值的异常度来设置 PEEP, 得到的结果略高于 ARDSnet 法, 但与最佳静态顺应性法相近, 表明 VRI 法可用于 ARDS 患者的 PEEP 设置。

VRI 技术可以实时监测呼吸过程中的肺部情

表 9 3 组 ARDS 患者肺血管通透性指数的比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数	肺血管通透性指数 (%)				F 值	P 值
		0 h	24 h	48 h	72 h		
ARDSnet 组	10	3.1±0.4	3.0±0.4	2.8±0.5	2.7±0.5 <sup>ab</sup>	2.165	0.109
最佳顺应性组	10	3.0±0.6	3.0±0.3	2.8±0.6	2.5±0.5 <sup>ab</sup>	2.791	0.054
VRI 组	10	3.2±0.3	3.2±0.3	2.8±0.5	2.3±0.7 <sup>abc</sup>	7.708	0.000
F 值		0.465	0.583	0.054	1.144		
P 值		0.633	0.565	0.947	0.333		

注：ARDS 为急性呼吸窘迫综合征；VRI 为振动反应成像；与 0 h 比较，<sup>a</sup> $P < 0.05$ ；与 24 h 比较，<sup>b</sup> $P < 0.05$ ；与 48 h 比较，<sup>c</sup> $P < 0.05$

况。Lev 等<sup>[2]</sup> 研究显示，机械通气患者的 VRI 图像分布与肺顺应性相关，顺应性差的区域分布减少，当 PEEP 水平改变时，图像也会发生相应的变化，提示 VRI 可用于指导 PEEP 的设置。QLD 值是 VRI 图像中双肺上中下 6 个区域的振动能量占全肺的百分比，总值为 100%，它反映了肺内气流和气道阻力的分布情况，可以直接从机器读取。QLD 值的异常度是指其偏离正常值的程度，能反映哮喘患者肺部病变的不均一情况和严重程度<sup>[5-6]</sup>。ARDS 患者同样存在肺损伤的不均一性，导致气流在肺部分布的不均一，QLD 值的异常度较大。本研究以 QLD 异常度最小值对应的 PEEP 作为最佳 PEEP，从肺内气体分布的角度来设置 PEEP，更符合 ARDS 患者的肺部变化。

本研究中，PEEP<sub>Cst</sub> 和 PEEP<sub>VRI</sub> 结果相近，治疗 24 h 后动态肺顺应性均明显高于 ARDSnet 组。从氧合的角度，治疗 24 h 后，3 组患者的氧合指数均明显升高，但 VRI 组显著高于 ARDSnet 组。提示 PEEP<sub>VRI</sub> 能维持呼气末肺泡开放状态，改善肺内气体分布，提高肺顺应性，进而改善氧合。

本研究显示，3 组患者通气 72 h，心率、中心静脉压、平均动脉压和心指数均无明显变化，同时 3 种方法设置的 PEEP 对患者血流动力学均无不良影响，表明 VRI 法设置 PEEP 是安全可行的。血管外肺水是指分布于肺血管外的液体，直观地反映肺水肿的严重程度。研究显示，ELWI 与 ARDS 患者的病情严重程度、机械通气天数、住院时间及病死率密切相关<sup>[9-10]</sup>。PVPI 反映了肺毛细血管通透性状态。因此，监测 ARDS 患者的 ELWI 和 PVPI 对临床治疗具有重要指导价值。本研究中，3 组 ARDS 患者的 ELWI 和 PVPI 明显增高，治疗后 ELWI 和 PVPI 均较治疗前明显改善，组间比较显示，VRI 组的 ELWI 与最佳顺应性组比较差异无统计学意义，但较 ARDSnet 组明显改善，提示 VRI 法设置的 PEEP 对血流动力学无不良影响，但可以有效改善 ARDS 患者的临床症状。

肌松，可床旁实时监测 ARDS 患者局部肺组织的气流变化情况，指导肺复张的科学实施和 PEEP 的合理设置。本研究初步探讨了 VRI 在 ARDS 患者 PEEP 设置中的应用，为临床治疗中个体化实施 ARDS 肺保护性通气提供了新的方法和思路。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] Bing D, Jian K, Long-feng S, et al. Vibration response imaging: a novel noninvasive tool for evaluating the initial therapeutic effect of noninvasive positive pressure ventilation in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease [J]. *Respir Res*, 2012, 13: 65. DOI: 10.1186/1465-9921-13-65.
- [2] Lev S, Glickman YA, Kagan I, et al. Changes in regional distribution of lung sounds as a function of positive end-expiratory pressure [J]. *Crit Care*, 2009, 13(3): R66. DOI: 10.1186/cc7871.
- [3] ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. *JAMA*, 2012, 307 (23): 2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.
- [4] Acute Respiratory Distress Syndrome Network, Brower RG, Matthay MA, et al. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome [J]. *N Engl J Med*, 2000, 342 (18): 1301-1308. DOI: 10.1056/NEJM200005043421801.
- [5] 李俊, 蔡柏蓓. 振动反应成像肺部定量数据在诊断气流受限疾病中的价值 [J]. *中国呼吸与危重监护杂志*, 2008, 7(3): 165-168. DOI: 10.3969/j.issn.1671-6205.2008.03.003.
- [6] 谭焱, 孙丽华, 谷伟, 等. 振动反应成像肺部定量数值在支气管哮喘中的临床应用 [J]. *临床误诊误治*, 2012, 25(12): 22-25. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3429.2012.12.011.
- [7] 马迎民, 罗祖金. 肺复张手法的临床实施 [J]. *中华结核和呼吸杂志*, 2016, 39(9): 671-674. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-0939.2016.09.006.
- [8] 中华医学会呼吸病学分会呼吸危重症医学学组. 急性呼吸窘迫综合征患者机械通气指南(试行) [J]. *中华医学杂志*, 2016, 96(6): 404-424. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.06.002.
- [9] 朱金源, 王晓红, 杨晓军, 等. 血管外肺水指数和肺血管通透性指数的动态变化对急性呼吸窘迫综合征患者预后的影响 [J]. *中华医学杂志*, 2015, 95(39): 3163-3167. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2015.39.002.
- [10] Jozwiak M, Teboul JL, Monnet X. Extravascular lung water in critical care: recent advances and clinical applications [J]. *Ann Intensive Care*, 2015, 5(1): 38. DOI: 10.1186/s13613-015-0081-9.