

# 不同呼气末正压水平对急性呼吸窘迫综合征患者脑血流和脑血管自动调节功能影响的研究

杨春丽 陈志 卢院华 贺慧为 曾卫华

**【摘要】目的** 探讨不同呼气末正压(PEEP)水平对急性呼吸窘迫综合征(ARDS)患者脑血流和脑血管自动调节功能的影响。**方法** 采用前瞻性观察研究方法,选择 2013 年 1 月 1 日至 10 月 1 日江西省人民医院重症医学科住院的中重度 ARDS 患者,观察不同 PEEP 水平下血流动力学、肺机械力学、肺气体交换指标的变化;采用经颅多普勒(TCD)检测大脑中动脉的血流速度,并计算屏气指数(BHI)。**结果** 共有 35 例 ARDS 患者入选,将 PEEP 水平由  $(6.4 \pm 1.0)$   $\text{cmH}_2\text{O}$  ( $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$ ) 提高到  $(14.5 \pm 2.0)$   $\text{cmH}_2\text{O}$  后,患者氧合指数明显改善 [ $\text{mmHg}$  ( $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ ):  $324.7 \pm 117.2$  比  $173.4 \pm 95.8$ ,  $t = 5.913$ ,  $P = 0.000$ ];气道峰压(PIP)、气道平台压(Pplat)及中心静脉压(CVP)均明显升高 [PIP( $\text{cmH}_2\text{O}$ ):  $34.7 \pm 9.1$  比  $26.1 \pm 7.9$ ,  $t = 4.222$ ,  $P = 0.000$ ; Pplat( $\text{cmH}_2\text{O}$ ):  $30.5 \pm 8.4$  比  $22.2 \pm 7.1$ ,  $t = 4.465$ ,  $P = 0.000$ ; CVP( $\text{mmHg}$ ):  $12.1 \pm 3.5$  比  $8.8 \pm 2.2$ ,  $t = 4.723$ ,  $P = 0.000$ ];但并不会影响患者的心率(次/min:  $85.5 \pm 19.1$  比  $82.7 \pm 17.3$ ,  $t = 0.643$ ,  $P = 0.523$ )和平均动脉压( $\text{mmHg}$ :  $73.5 \pm 12.4$  比  $76.4 \pm 15.1$ ,  $t = 0.878$ ,  $P = 0.383$ )以及大脑中动脉血流速度[收缩期峰值速度( $V_{\max}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $91.26 \pm 17.57$  比  $96.64 \pm 18.71$ ,  $t = 1.240$ ,  $P = 0.219$ ;舒张期速度( $V_{\min}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $31.54 \pm 7.71$  比  $33.87 \pm 8.53$ ,  $t = 1.199$ ,  $P = 0.235$ ;平均速度( $V_{\text{mean}}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $51.19 \pm 12.05$  比  $54.27 \pm 13.36$ ,  $t = 1.013$ ,  $P = 0.315$ ]。入组时共有 18 例患者  $\text{BHI} < 1.0$ ,提示脑血管舒缩反应性欠佳;随着 PEEP 增加,BHI 值略有下降( $0.78 \pm 0.16$  比  $0.86 \pm 0.19$ ,  $t = 1.905$ ,  $P = 0.061$ )。**结论** 相当部分不合并中枢神经系统病变的中重度 ARDS 患者本身就存在脑血管自动调节功能下降,选择一个相对较高的 PEEP 并不会进一步损害患者脑血管自动调节功能。

**【关键词】** 急性呼吸窘迫综合征; 呼气末正压; 脑血管自动调节功能; 脑血流

**The influence of positive end-expiratory pressure on cerebral blood flow and cerebrovascular autoregulation in patients with acute respiratory distress syndrome** Yang Chunli, Chen Zhi, Lu Yuanhua, He Huiwei, Zeng Weihua. Department of Critical Care Medicine, People's Hospital of Jiangxi Province, Nanchang 330006, Jiangxi, China

Corresponding author: Chen Zhi, Email: jxcz120@qq.com

**【Abstract】 Objective** To explore the influence of different positive end-expiratory pressure (PEEP) levels on cerebral blood flow (CBF) and cerebrovascular autoregulation in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS). **Methods** A prospective study was conducted. Moderate or severe ARDS patients admitted to Department of Critical Care Medicine of Jiangxi Provincial People's Hospital from January 1st, 2013 to October 1st, 2013 were enrolled. The changes in hemodynamics, respiratory mechanics and gas exchange under different levels of PEEP were observed. CBF velocity of middle cerebral artery (MCA) was measured using transcranial Doppler (TCD), and breath-holding index (BHI) was also calculated. **Results** 35 patients with ARDS were included. The oxygenation index (OI), peak inspiratory pressure (PIP), plat pressure (Pplat) and central venous pressure (CVP) were markedly elevated [OI ( $\text{mmHg}$ ,  $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$ ):  $324.7 \pm 117.2$  vs.  $173.4 \pm 95.8$ ,  $t = 5.913$ ,  $P = 0.000$ ; PIP ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ):  $34.7 \pm 9.1$  vs.  $26.1 \pm 7.9$ ,  $t = 4.222$ ,  $P = 0.000$ ; Pplat ( $\text{cmH}_2\text{O}$ ):  $30.5 \pm 8.4$  vs.  $22.2 \pm 7.1$ ,  $t = 4.465$ ,  $P = 0.000$ ; CVP ( $\text{mmHg}$ ):  $12.1 \pm 3.5$  vs.  $8.8 \pm 2.2$ ,  $t = 4.723$ ,  $P = 0.000$ ] when PEEP was increased from  $(6.4 \pm 1.0)$   $\text{cmH}_2\text{O}$  to  $(14.5 \pm 2.0)$   $\text{cmH}_2\text{O}$  ( $1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$ ). But no significant difference in the heart rate (beats/min:  $85.5 \pm 19.1$  vs.  $82.7 \pm 17.3$ ,  $t = 0.643$ ,  $P = 0.523$ ), mean arterial pressure ( $\text{mmHg}$ :  $73.5 \pm 12.4$  vs.  $76.4 \pm 15.1$ ,  $t = 0.878$ ,  $P = 0.383$ ) and CBF velocity of MCA [peak systolic flow velocity ( $V_{\max}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $91.26 \pm 17.57$  vs.  $96.64 \pm 18.71$ ,  $t = 1.240$ ,  $P = 0.219$ ; diastolic flow velocity ( $V_{\min}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $31.54 \pm 7.71$  vs.  $33.87 \pm 8.53$ ,  $t = 1.199$ ,  $P = 0.235$ ; mean velocity ( $V_{\text{mean}}$ ,  $\text{cm/s}$ ):  $51.19 \pm 12.05$  vs.  $54.27 \pm 13.36$ ,  $t = 1.013$ ,  $P = 0.315$ ] was found. 18 patients with  $\text{BHI} < 0.1$  at baseline demonstrated that cerebral vasomotor reactivity was poor. BHI was slightly decreased with increase in PEEP ( $0.78 \pm 0.16$  vs.  $0.86 \pm 0.19$ ,  $t = 1.905$ ,  $P = 0.061$ ). **Conclusions** Some of moderate or severe ARDS patients without central nervous system disease have independent of preexisting cerebral autoregulation impairment. However, independent of preexisting cerebral autoregulation may not further be impaired when a high PEEP was chosen.

**【Key words】** Acute respiratory distress syndrome; Positive end-expiratory pressure; Cerebrovascular autoregulation; Cerebral blood flow

急性呼吸窘迫综合征(ARDS)是以低氧血症为主要特征的急性呼吸衰竭,大量肺泡塌陷、肺顺应性下降是其重要的病理生理表现。肺复张与选择恰当的呼气末正压(PEEP)能使萎陷肺泡复张,是改善 ARDS 患者氧合的一种常用方法<sup>[1-3]</sup>。但过高的 PEEP 可能会减少脑静脉回流,增加颅内血容量,从而引起颅内压(ICP)和脑灌注压(CPP)的改变,最终有可能影响脑血流和脑血管自动调节功能<sup>[4-5]</sup>。本研究通过经颅多普勒(TCD)检测 ARDS 患者大脑中动脉(MCA)脑血流速度(CBFV),计算屏气指数(BHI),试图了解不同 PEEP 水平对脑血流及脑血管自动调节功能的影响,报告如下。

**1 资料与方法**

**1.1 一般资料:**采用前瞻性观察研究方法,选择 2013 年 1 月 1 日至 10 月 1 日在江西省人民医院重症医学科住院的中重度 ARDS 患者,ARDS 诊断及分级参照柏林标准<sup>[6-7]</sup>,全部患者均给予气管插管和机械通气。排除标准:年龄 < 15 岁;妊娠期;合并急性颅内占位性病变(颅内感染、脑出血、脑卒中等);侧颞窗透声差;颈动脉狭窄;长期吸烟、饮酒者。

本研究符合医学伦理学标准,并经医院伦理委员会批准,所有入选者或家属均签署知情同意书。

**1.2 治疗方法:**入选人群均在重症监护病房(ICU)接受机械通气和充分镇静/镇痛治疗,对于循环不稳定的患者加用去甲肾上腺素保证器官组织灌注。

**1.2.1 镇静/镇痛方法:**丙泊酚 1~4 mg·kg<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup> 和吗啡 1~2 mg/h 静脉微量泵入,使 Ramsay 评分达到 3~4 分。

**1.2.2 机械通气方法:**选用辅助/控制(A/C)通气模式,潮气量(V<sub>T</sub>) 8 mL/kg,限制平台压 30 cmH<sub>2</sub>O (1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa),调节呼吸频率使动脉血二氧化碳分压(PaCO<sub>2</sub>)维持在 40~50 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa)。吸入氧浓度(FiO<sub>2</sub>)单独调整,以实现动脉血氧分压(PaO<sub>2</sub>)>70 mmHg。采用美国 PB840 呼吸机,流速触发,触发灵敏度 2 L/min。

**1.2.3 PEEP 选择:**以患者入组时的 PEEP 水平为基础值,根据氧合法 PEEP-FiO<sub>2</sub> 表格(表 1)选择 PEEP。两组患者均采用控制性肺膨胀法(SI)实施肺复张<sup>[8-9]</sup>,间隔 4 h 实施 1 次。

**1.3 监测指标及方法**

**1.3.1 血流动力学监测:**所有患者均行有创桡动脉置管,使用飞利浦 MP30 型心电监护仪监测平均动脉压(MAP)、心率(HR)等血流动力学指标。

**1.3.2 肺机械力学指标监测:**使用美国柯惠公司生产的 PB840 呼吸机监测气道峰压(PIP)、气道平台压(Pplat)等肺机械力学指标。

**1.3.3 肺气体交换指标:**自桡动脉置管处抽取动脉血,使用美国实验仪器公司 GEM 3000 血气分析仪测定 PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub> 等肺气体交换指标,并计算氧合指数(PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>)。

**1.3.4 TCD 观测方法:**患者平卧于电动倾斜床上。采用 GE Vivid 3 彩色多普勒血流显像仪,用 2 MHz 检测探头置于双侧颞窗,取得双侧 MCA 最佳血流信号,检测 CBFV,记录 MCA 收缩期峰值速度(V<sub>max</sub>)、舒张期速度(V<sub>min</sub>)、平均速度(V<sub>mean</sub>);同时检测患者血压及经皮血氧饱和度。以患者入组后的 PEEP 水平为基线值,控制通气 4~5 min,在记录 CBFV 后,探头位置及取样容积深度均保持不变,呼吸机设置吸气保持 15 s,记录吸气末的 CBFV,然后恢复呼吸 3 min,重复 3 次后取平均值,按 Sloan 等<sup>[10-12]</sup>的方法计算 BHI。

$$BHI = [(V_{bh} - V_r) / V_r] \times 100/T$$

式中,V<sub>bh</sub>为屏气末平均流速,V<sub>r</sub>为平静呼吸时的平均流速,T为屏气时间(单位为 s)。

到达最佳 PEEP 后,按上述方法再次测量 MCA 的 V<sub>max</sub>、V<sub>min</sub>、V<sub>mean</sub>,行屏气试验后计算 BHI。

**1.4 统计学分析:**使用 SPSS 15.0 统计软件进行数据处理,正态分布数据以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,采用 t 检验;非正态分布数据以中位数(四分位数)[M(Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>)]表示,进行秩和检验;P<0.05 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 入选人群基线资料:**研究期间共有 35 例 ARDS 患者纳入本研究,其中男性 19 例,女性 16 例;年龄 20~65 岁,平均(43.4±11.7)岁;中度 ARDS 患者 26 例,重度 ARDS 患者 9 例;急性生理学与慢性健康状况评分系统 II (APACHE II)评分(28±9)分。

**2.2 PEEP 对气体交换和肺机械力学的影响(表 2):**氧合法选择 PEEP 水平与 PEEP 基础值之间差异有统计学意义(P=0.000)。随着 PEEP 的增加,PIP、Pplat 均明显提高(均 P=0.000),PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 则提高了 1 倍多(P=0.000);而不同 PEEP 水平的 PaO<sub>2</sub>、PaCO<sub>2</sub> 均无明显变化(均 P>0.05)。

表 1 氧合法 PEEP-FiO<sub>2</sub> 调整表

指标	数值
PEEP(cmH <sub>2</sub> O)	5 5 8 8 10 10 10 12 14 14 14 16 18 18~24
FiO <sub>2</sub>	0.3 0.4 0.4 0.5 0.5 0.6 0.7 0.7 0.7 0.8 0.9 0.9 0.9 1.0

注:PEEP 为呼气末正压,FiO<sub>2</sub> 为吸入氧浓度;1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa

表 2 不同 PEEP 水平对 35 例 ARDS 患者气体交换和肺机械力学指标的影响( $\bar{x} \pm s$ )

时间	例数(例)	PEEP(cmH <sub>2</sub> O)	PaO <sub>2</sub> (mmHg)	PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> (mmHg)	PIP(cmH <sub>2</sub> O)	Pplat(cmH <sub>2</sub> O)
调整前基础 PEEP	35	6.4 ± 1.0	88 ± 15	45.5 ± 6.3	173.4 ± 95.8	26.1 ± 7.9	22.2 ± 7.1
调整后最佳 PEEP	35	14.5 ± 2.0	93 ± 21	47.8 ± 8.7	324.7 ± 117.2	34.7 ± 9.1	30.5 ± 8.4
t 值		21.431	1.146	1.267	5.913	4.222	4.465
P 值		0.000	0.256	0.209	0.000	0.000	0.000

注:PEEP 为呼气末正压,ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,PaO<sub>2</sub> 为动脉血氧分压,PaCO<sub>2</sub> 为动脉血二氧化碳分压,PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> 为氧合指数,PIP 为气道峰压,Pplat 为气道平台压;1 cmH<sub>2</sub>O=0.098 kPa,1 mmHg=0.133 kPa

表 3 不同 PEEP 水平对 35 例 ARDS 患者血流动力学及经颅多普勒观测指标的影响( $\bar{x} \pm s$ )

时间	例数(例)	HR(次/min)	MAP(mmHg)	CVP(mmHg)	Vmax(cm/s)	Vmin(cm/s)	Vmean(cm/s)	BHI
调整前基础 PEEP	35	82.7 ± 17.3	76.4 ± 15.1	8.8 ± 2.2	96.64 ± 18.71	33.87 ± 8.53	54.27 ± 13.36	0.86 ± 0.19
调整后最佳 PEEP	35	85.5 ± 19.1	73.5 ± 12.4	12.1 ± 3.5	91.26 ± 17.57	31.54 ± 7.71	51.19 ± 12.05	0.78 ± 0.16
t 值		0.643	0.878	4.723	1.240	1.199	1.013	1.905
P 值		0.523	0.383	0.000	0.219	0.235	0.315	0.061

注:PEEP 为呼气末正压,ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,HR 为心率,MAP 为平均动脉压,CVP 为中心静脉压,Vmax、Vmin、Vmean 为大脑中动脉收缩期峰值速度、舒张期速度、平均速度,BHI 为屏气指数;1 mmHg=0.133 kPa

**2.3 PEEP 对血流动力学和 CBFV 的影响(表 3):**与基础 PEEP 时比较,最佳 PEEP 时的 HR、MAP 差异均无统计学意义,而中心静脉压(CVP)明显升高( $t=4.723, P=0.000$ )。随着 PEEP 增加,Vmax、Vmin、Vmean 较基础 PEEP 时有所下降,但差异均无统计学意义(均  $P>0.05$ ),说明不同 PEEP 水平对 ARDS 患者 MCA 的 CBFV 无明显影响。

**2.4 PEEP 对 BHI 的影响(表 3):**35 例患者中有 18 例患者基础 PEEP 水平时 BHI 值  $<1.0$ ,提示脑血管舒缩反应性欠佳。随着 PEEP 的增加,35 例 ARDS 患者的 BHI 值都略有所下降,但差异无统计学意义( $t=1.905, P=0.061$ )。

### 3 讨论

ARDS 是 ICU 内威胁患者生命的常见疾病,特别是在近年来全球重症急性呼吸综合征(SARS)、H1N1 和 H7N9 禽流感的流行中,ARDS 更是导致患者死亡的重要原因<sup>[13-17]</sup>。选择恰当的 PEEP 能明显降低肺内分流,改善患者氧合<sup>[18-21]</sup>。但 PEEP 可升高患者呼气末肺内压和胸腔内压,减少脑静脉血回流,增加脑血流量,从而升高颅内压,影响脑灌注,最终有可能影响脑血流和脑血管自动调节功能<sup>[5,22]</sup>。

脑血管自动调节功能的生理作用在于使动脉血压或 CPP 在一定范围内发生改变时仍能保持脑部血流动力学的相对稳定,是一种预防继发性缺血损伤的内在保护机制<sup>[23-24]</sup>。脑血管平滑肌张力受不同血管跨壁压或 PaCO<sub>2</sub> 水平的影响<sup>[25-26]</sup>,TCD 能显示颅内二维结构及大血管血流情况,检测颅内大动脉血流速度,通过结合屏气试验等各种刺激下引起的脑血流变化,计算 BHI,用于判断脑血管反应性,评估脑血管自动调节功能<sup>[27-30]</sup>。Vernieri 等<sup>[31]</sup>和彭琼

等<sup>[32]</sup>研究发现,BHI  $>1.0$  说明脑血管舒缩反应性良好,认为 BHI 下降是颈动脉狭窄患者发生脑缺血事件最重要的预测因子。

本研究显示,35 例 ARDS 患者中有 18 例基础 BHI 值  $<1.0$ ,提示脑血管舒缩反应性欠佳,存在脑血管自动调节功能受损。Schramm 等<sup>[33]</sup>通过监测平均流速指数(MX)发现,55% 的 ARDS 患者 MX  $>0.3$ ,存在脑血管自动调节功能下降,与本研究的结论相似。ARDS 患者出现脑血管自动调节功能下降的原因目前尚不清楚,但提示我们在临床工作中,即便对于未合并颅内疾病的 ARDS 患者,也有必要监测患者的脑血管自动调节功能,如果没有条件监测脑血管自动调节功能,有必要将 CPP 保持在一定范围内,以避免患者发生脑灌注不足<sup>[34-35]</sup>。

Caricato 等<sup>[36]</sup>通过对 21 例接受机械通气的神经外科患者的临床观察发现,将 PEEP 水平由 0 增加到 12 cmH<sub>2</sub>O,会降低患者的 CBFV。但本研究显示,对于并不存在颅内疾病的 ARDS 患者,将 PEEP 水平由 (6.4 ± 1.0) cmH<sub>2</sub>O 增至 (14.5 ± 2.0) cmH<sub>2</sub>O,CBFV 并不会出现进一步改变,BHI 虽略有下降,但差异并无统计学意义,表明无论是对于脑血管自动调节功能正常还是受损的 ARDS 患者,使用一个相对较高的 PEEP 并不会进一步损害脑血管自动调节功能。

综上所述,相当一部分未合并中枢神经系统病变的中重度 ARDS 患者,本身就存在着脑血管自动调节功能下降;选择一个相对较高的 PEEP,可能并不会进一步损害患者脑血管自动调节功能。临床工作中对于存在脑血管自动调节功能受损的 ARDS 患者,应注意监测和评估其脑灌注水平,以避免发生继发性脑缺血、缺氧。由于本研究纳入的病例数较少,

关于 ARDS 患者出现脑血管自动调节功能下降的原因目前尚不清楚, 还需要多中心大样本的深入研究来证实。

### 参考文献

- [1] 中华医学会重症医学分会. 急性肺损伤/急性呼吸窘迫综合征诊断和治疗指南(2006)[J]. 中国危重病急救医学, 2006, 18(12):706-710.
- [2] Pelosi P, Rocco PR, de Abreu MG. Use of computed tomography scanning to guide lung recruitment and adjust positive-end expiratory pressure [J]. *Curr Opin Crit Care*, 2011, 17(3):268-274.
- [3] Lu Q, Vieira SR, Richecoeur J, et al. A simple automated method for measuring pressure-volume curves during mechanical ventilation [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1999, 159(1):275-282.
- [4] Reinhard M, Neunhoeffer F, Gerds TA, et al. Secondary decline of cerebral autoregulation is associated with worse outcome after intracerebral hemorrhage [J]. *Intensive Care Med*, 2010, 36(2):264-271.
- [5] Schramm P, Klein KU, Pape M, et al. Serial measurement of static and dynamic cerebrovascular autoregulation after brain injury [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2011, 23(1):41-44.
- [6] ARDS Definition Task Force. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. *JAMA*, 2012, 307(23):2526-2533.
- [7] 杨毅. ARDS 诊断: 柏林标准的价值与意义 [J]. *医学与哲学*, 2012, 33(9):10-11.
- [8] Lim SC, Adams AB, Simonson DA, et al. Intercomparison of recruitment maneuver efficacy in three models of acute lung injury [J]. *Crit Care Med*, 2004, 32(12):2371-2377.
- [9] 李茂琴, 张舟, 李松梅. 肺复张策略对急性呼吸窘迫综合征患者影响的研究 [J]. *中国医师杂志*, 2005, 7(9):1189-1191.
- [10] Sloan MA, Alexandrov AV, Tegeler CH, et al. Assessment: transcranial Doppler ultrasonography: report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the american academy of neurology [J]. *Neurology*, 2004, 62(9):1468-1481.
- [11] 许菲瑶, 刘佰运. 脑血管自动调节能力的参数评估 [J]. *中华神经外科杂志*, 2010, 26(8):756-758.
- [12] 彭清, 黄一宁. 脑血管病患者的脑血流自身调节潜力分析 [J]. *中华神经科杂志*, 2007, 40(6):380-382.
- [13] Imai Y, Kuba K, Penninger JM. Lessons from SARS: a new potential therapy for acute respiratory distress syndrome (ARDS) with angiotensin converting enzyme 2 (ACE2) [J]. *Masui*, 2008, 57(3):302-310.
- [14] Perez-Padilla R, de la Rosa-Zamboni D, Ponce de Leon S, et al. Pneumonia and respiratory failure from swine-origin influenza A (H1N1) in Mexico [J]. *N Engl J Med*, 2009, 361(7):680-689.
- [15] 于洪涛, 杨耀杰, 张庆宪, 等. 甲型 H1N1 流感危重症临床特点及危险因素分析 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2011, 18(5):142-145.
- [16] Jaber S, Conseil M, Coisel Y, et al. ARDS and influenza A (H1N1): patients' characteristics and management in intensive care unit. A literature review [J]. *Ann Fr Anesth Reanim*, 2010, 29(2):117-125.
- [17] Gao R, Cao B, Hu Y, et al. Human infection with a novel avian-origin influenza A (H7N9) virus [J]. *N Engl J Med*, 2013, 368(20):1888-1897.
- [18] 邱海波, 许红阳, 杨毅, 等. 呼气末正压对急性呼吸窘迫综合征肺复张容积及氧合影响的临床研究 [J]. *中国危重病急救医学*, 2004, 16(7):399-402.
- [19] Chiumello D. Bedside ultrasound assessment of positive end expiratory pressure-induced lung recruitment [J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2012, 185(4):457, 458.
- [20] Talmor D, Sarge T, Malhotra A, et al. Mechanical ventilation guided by esophageal pressure in acute lung injury [J]. *N Engl J Med*, 2008, 359(20):2095-2104.
- [21] Dellamonica J, Lerolle N, Sargentini C, et al. PEEP-induced changes in lung volume in acute respiratory distress syndrome. Two methods to estimate alveolar recruitment [J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(10):1595-1604.
- [22] 杨自建, 张翔宇, 沈菊芳, 等. 不同呼气末正压水平对肺复张患者脑灌注压及血流动力学的影响 [J]. *中国危重病急救医学*, 2008, 20(10):588-591.
- [23] Sorrentino E, Budohoski KP, Kasprowitz M, et al. Critical thresholds for transcranial Doppler indices of cerebral autoregulation in traumatic brain injury [J]. *Neurocrit Care*, 2011, 14(2):188-193.
- [24] 宿志宇, 李春盛. H-磁共振波谱成像评价去甲肾上腺素诱导的高血压灌注对心搏骤停模型猪脑代谢的影响 [J]. *中国中西医结合急救杂志*, 2013, 20(1):9-12.
- [25] 薛凯, 张赛. 激光多普勒监测重型颅脑创伤患者脑血流的临床研究 [J]. *中华神经外科杂志*, 2007, 23(7):486-489.
- [26] 王坤. 脑血流自动调节功能的研究进展 [J]. *济宁医学院学报*, 2011, 34(2):136-138.
- [27] Kodaka R, Itagaki Y, Matsumoto M, et al. A transcranial doppler ultrasonography study of cerebrovascular CO<sub>2</sub> reactivity in mitochondrial encephalomyopathy [J]. *Stroke*, 1996, 27(8):1350-1353.
- [28] Lavi S, Egbarya R, Lavi R, et al. Role of nitric oxide in the regulation of cerebral blood flow in humans: chemoregulation versus mechanoregulation [J]. *Circulation*, 2003, 107(14):1901-1905.
- [29] Markus HS, Harrison MJ. Estimation of cerebrovascular reactivity using transcranial Doppler, including the use of breath-holding as the vasodilatory stimulus [J]. *Stroke*, 1992, 23(5):668-673.
- [30] Gropen TI, Prohownik I, Tatemichi TK, et al. Cerebral hyperemia in MELAS [J]. *Stroke*, 1994, 25(9):1873-1876.
- [31] Vernieri F, Pasqualetti P, Passarelli F, et al. Outcome of carotid artery occlusion is predicted by cerebrovascular reactivity [J]. *Stroke*, 1999, 30(3):593-598.
- [32] 彭琼, 林百喜, 龙建庭, 等. 经颅多普勒屏气实验与脑卒中后认知障碍转归的关系研究 [J]. *卒中与神经疾病*, 2011, 18(5):282-285.
- [33] Schramm P, Closhen D, Felkel M, et al. Influence of PEEP on cerebral blood flow and cerebrovascular autoregulation in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2013, 25(2):162-167.
- [34] Steiner LA, Pfister D, Strebel SP, et al. Near-infrared spectroscopy can monitor dynamic cerebral autoregulation in adults [J]. *Neurocrit Care*, 2009, 10(1):122-128.
- [35] Czosnyka M, Brady K, Reinhard M, et al. Monitoring of cerebrovascular autoregulation: facts, myths, and missing links [J]. *Neurocrit Care*, 2009, 10(3):373-386.
- [36] Caricato A, Conti G, Della Corte F, et al. Effects of PEEP on the intracranial system of patients with head injury and subarachnoid hemorrhage: the role of respiratory system compliance [J]. *J Trauma*, 2005, 58(3):571-576.

(收稿日期:2013-11-11)

(本文编辑:李银平)