

论著·临床研究

极早产儿俯卧位机械通气对呼吸功能的影响

钟庆华 段江 张彩营 冯艳丽 齐志业 贺湘英 梁琨

(昆明医科大学第一附属医院儿科 NICU, 云南 昆明 650032)

[摘要] **目的** 探讨极早产儿俯卧位机械通气对呼吸功能的影响。**方法** 83例经口气管插管机械通气极早产儿随机分为仰卧位组和俯卧位组,4例退出研究,79例完成治疗和观察(仰卧位组37例,俯卧位组42例),以容量辅助/控制模式机械通气。俯卧位组患儿每仰卧位通气4h行俯卧位通气2h。分组干预之前以及分组干预后仰卧位组每6h、俯卧位组每于转换为俯卧位后的1h,分别记录呼吸机参数、动脉血气分析和生命体征。**结果** 俯卧位组 FiO_2 、气道峰压、平均气道压、机械通气时间低于仰卧位组,差异有统计学意义($P<0.05$);两组潮气量、呼气末正压的差异无统计学意义($P>0.05$);俯卧位组的 PO_2/FiO_2 比值高于仰卧位组,而氧合指数、呼吸频率较低,差异均有统计学意义($P<0.05$)。两组 PaO_2 、pH、BE、心率和有创动脉血压平均压的差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 俯卧位与仰卧位交替通气能改善机械通气极早产儿的氧合功能,降低吸入氧体积分数,缩短机械通气时间。**[中国当代儿科杂志, 2018, 20(8): 608-612]**

[关键词] 俯卧;体位;机械通气;早产

Effect of prone positioning on respiratory function in very preterm infants undergoing mechanical ventilation

ZHONG Qing-Hua, DUAN Jiang, ZHANG Cai-Ying, FENG Yan-Li, QI Zhi-Ye, HE Xiang-Ying, LIANG Kun. NICU, Department of Pediatrics, First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China (Duan J, Email: jetduan@126.com)

Abstract: Objective To explore the effect of prone positioning on respiratory function in very preterm infants undergoing mechanical ventilation. **Methods** A total of 83 very preterm infants treated with mechanical ventilation were enrolled in the study and were randomly assigned to supine group and prone group. Four infants withdrew from the study and 79 infants completed treatment and observation (37 in the supine group and 42 in the prone group). Infants in both groups were mechanically ventilated in a volume assist-control mode. Infants in the prone group were ventilated in the supine position for 4 hours and in the prone position for 2 hours. Ventilator parameters, arterial blood gas analysis, and vital signs were recorded before grouping, every 6 hours in the supine group, and every hour after conversion into the prone position in the prone group, respectively. **Results** Fraction of inspired oxygen (FiO_2), peak inspiratory pressure, mean inspiratory pressure, and duration of ventilation were significantly lower in the prone group than in the supine group ($P<0.05$); there were no significant differences in tidal volume or positive end-expiratory pressure between the two groups ($P>0.05$). The prone group had a significantly higher PO_2/FiO_2 ratio but significantly lower oxygenation index and respiratory rate than the supine group ($P<0.05$). There were no significant differences in arterial oxygen tension, pH, base excess, heart rate, or mean blood pressure between the two groups ($P>0.05$). **Conclusions** Alternating ventilation between the prone position and supine position can improve oxygenation function, decrease the fraction of inspired oxygen, and shorten the duration of mechanical ventilation in very preterm infants undergoing mechanical ventilation.

[Chin J Contemp Pediatr, 2018, 20(8): 608-612]

Key words: Prone; Position; Mechanical ventilation; Preterm infant

[收稿日期] 2018-03-15; [接受日期] 2018-07-04

[基金项目] 云南省高层次卫生技术人才培养(学科带头人)基金资助项目(D-201609);云南省卫生科技计划项目(2016NS062)。

[作者简介] 钟庆华,女,硕士,主治医师。

[通信作者] 段江,男,副教授。

呼吸衰竭是早产儿死亡的最主要原因,许多极早产和超早产儿需要依赖机械通气和氧气吸入以维持有效呼吸^[1]。但较长时间的正压通气和氧疗不可避免带来呼吸机相关肺损伤,呼吸机相关性肺炎和高氧肺损伤是早产儿支气管肺发育不良(bronchopulmonary dysplasia, BPD)发生、发展的重要相关因素^[2]。因而施行保护性机械通气策略,缩短机械通气时间是提高早产儿存活率和改善其呼吸功能结局的重要内容。机械通气常规情况下采取仰卧位方式,成人研究显示俯卧位机械通气可以改善急性呼吸衰竭患者的通气和氧合情况,降低死亡率和改善远期预后^[3-4]。近年来国内外针对新生儿群体也逐步开展了俯卧位对呼吸功能影响的研究,认为俯卧位可改善新生儿的氧合功能和动态肺顺应性,降低气道阻力,但多为针对机械通气的足月儿、无创辅助呼吸的早产儿或者非通气治疗的较大胎龄健康早产儿的研究,且多为短时效(数小时)的肺功能评价,对需要机械通气的早产儿研究较少^[5-9]。

本研究着眼于呼吸功能低下的极早产儿群体,在其急性呼吸衰竭早期即给予俯卧位方式机械通气治疗,并维持至撤离呼吸机,以研究俯卧位机械通气对极早产儿呼吸功能的影响。

1 资料与方法

1.1 研究对象

以2016年3月至2017年5月昆明医科大学第一附属医院儿科NICU收治的极早产儿为研究对象。纳入标准:(1)因新生儿呼吸窘迫综合征或者频繁呼吸暂停于生后24 h内经口气管插管并机械通气治疗,且纳入研究前常规仰卧位通气时间 ≤ 6 h;(2)出生胎龄28~<32周;(3)出生体重850~<2000 g;(4)获得监护人知情同意。排除标准:(1)出生重度窒息;(2)小于胎龄儿;(3)先天畸形;(4)腹胀或严重呕吐;(5)气漏综合征;(6)肺出血;(7)心脏疾病或血压不稳定;(8)先天性感染(孕母产前发热超过38.5°, WBC $>15 \times 10^9/L$,早产儿入院当时的血液培养阳性);(9)皮肤不完整;(10)母亲年龄 <18 岁或 >35 岁;(11)骨折或腹部开放性损伤;(12)需使用高频通气。一共83例患儿纳入研究,

采用随机数字表法进行分组,分为仰卧位组(40例)和俯卧位组(43例)。俯卧位组1例因家属要求退出研究;仰卧位组3例退出研究:家属放弃治疗1例,发现室间隔缺损1例,严重溶血行换血治疗1例。79例完成全部观察治疗(仰卧位组37例,俯卧位组42例),其中男43例、女36例,平均出生体重 1254 ± 176 g,平均胎龄 30.2 ± 0.9 周,日龄 $0.2(0.1, 0.3)$ d。机械通气采用德国Stephan公司产Sophie婴儿呼吸机。两组患儿均采取容量辅助/控制模式(持续气流,流量触发)。初设参数:潮气量(VT)6 mL/kg,呼吸末正压(PEEP)5 cm H₂O,吸气时间0.3~0.5 s,吸入氧体积分数(FiO₂)根据病情决定。各参数根据病情进行调整。

仰卧位组头肩抬高30°,每3 h左侧或右侧卧位与仰卧位更替一次。俯卧位组则每仰卧位机械通气4 h更替为俯卧位2 h,体位转换由3名护士同时操作,避免气管插管和动静脉通路、胃管等管路牵拉脱落。如俯卧位后经皮血氧饱和度(TcSO₂)较仰卧位时持续下降超过20%,血压不稳定,频繁呼吸暂停,血痰,腹胀或呕吐,则停止俯卧位机械通气。

机械通气撤机标准参考中华医学会儿科学分会新生儿学组制定的《新生儿机械通气常规》^[10],即原发病好转、感染基本控制、一般情况较好、血气分析正常时,逐渐降低呼吸机参数,锻炼和增强患儿自主呼吸能力。当PIP ≤ 18 cm H₂O, PEEP 2~4 cm H₂O,频率 ≤ 10 次/min, FiO₂ ≤ 0.4 并且动脉血气分析正常,予撤机处理。

两组患者的其他治疗如肺表面活性物质、咖啡因的使用以及喂养方案等均按照诊疗常规实施。

1.2 观察指标

记录两组患儿各项呼吸机参数,包括VT, PEEP, FiO₂;各项呼吸功能监测值,包括气道峰压(PIP),平均气道压(Mpaw), TcSO₂, PETCO₂;各项生命体征,包括HR、RR,有创动脉血压平均压(MBP)。分组干预之前记录两组患儿的上述指标;分组后仰卧位组每6 h进行记录,俯卧位组则每次由仰卧位转换为俯卧位后1 h时记录。两组每天均进行一次动脉血气分析,仰卧位组在每天早上8~9点采集标本,俯卧位组于俯卧位更换为仰卧位后1 h采集。计算PO₂/FiO₂(P/F)值和氧合指数(oxygen index, OI), OI= FiO₂ × Mpaw/

PaO₂。并记录两组患儿的机械通气总时长。

1.3 统计学分析

采用 SPSS 17.0 软件进行数据处理。正态分布的计量资料用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 组间比较采用两独立样本 *t* 检验; 非正态分布的计量资料用中位数四分数 [*P*₅₀ (*P*₂₅, *P*₇₅)] 表示, 两组间比较采用非参数检验; 计数资料用率 (%) 表示, 两组间比较采用 χ^2 检验。 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料的比较

仰卧位组与俯卧位组在性别、出生体重、出

生胎龄及日龄等一般情况的差异无统计学意义 (表 1)。两组患儿在主要的早产高危因素如胎膜早破、子痫前期、妊娠期糖尿病、胎盘早剥方面的差异无统计学意义 (表 2)。分组前两组患儿基本生命体征和呼吸机参数的差异无统计学意义 (表 3)。

表 1 两组患儿一般资料比较

组别	例数	出生胎龄 ($\bar{x} \pm s$, 周)	出生体重 ($\bar{x} \pm s$, g)	日龄 [<i>P</i> ₅₀ (<i>P</i> ₂₅ , <i>P</i> ₇₅), d]	性别 (男/女)
仰卧位组	37	30.2 ± 0.8	1 234 ± 184	0.2(0.1, 0.3)	25/12
俯卧位组	42	30.2 ± 1.0	1 273 ± 170	0.3(0.1, 0.3)	29/13
<i>t</i> (<i>Z</i>) χ^2 值		-0.18	0.98	(-0.67)	[0.02]
<i>P</i> 值		0.855	0.333	0.502	0.888

表 2 两组患儿早产高危因素比较 [例 (%)]

组别	例数	胎膜早破	妊娠期糖尿病	子痫前期	胎盘早剥	胎盘植入	胎儿窘迫	人工授精
仰卧位组	37	14(38)	4(11)	5(14)	5(14)	3(8)	2(5)	4(11)
俯卧位组	42	17(40)	5(12)	5(12)	4(10)	4(10)	2(5)	5(12)
χ^2 值		0.12	0.15	0.20	0.20	0.03	0.35	0.15
<i>P</i> 值		0.732	0.696	0.654	0.654	0.854	0.552	0.696

表 3 两组患儿分组干预前的生命体征和呼吸机参数比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	HR (次/min)	RR (次/min)	MBP (mm Hg)	VT (mL/kg)	FiO ₂ (%)	Mpaw (cm H ₂ O)	TcSO ₂ (%)
仰卧位组	37	140 ± 9	49 ± 7	31.9 ± 2.0	5.9 ± 0.4	27 ± 4	10.5 ± 1.3	91.1 ± 1.8
俯卧位组	42	143 ± 9	50 ± 7	32.6 ± 2.6	5.8 ± 0.3	28 ± 4	10.0 ± 1.4	91.2 ± 1.8
<i>t</i> 值		1.82	0.73	1.36	-1.34	1.05	-1.65	-1.12
<i>P</i> 值		0.073	0.465	0.179	0.190	0.300	0.100	0.913

注: [MBP] 有创动脉血压平均压; [VT] 潮气量; [FiO₂] 吸入氧体积分数; [Mpaw] 平均气道压; [TcSO₂] 经皮血氧饱和度。

2.2 两组患儿的呼吸机参数和通气时长比较

以达到生命体征稳定、TcSO₂ 90%~95%、PETCO₂ 40~55 mm Hg 为前提, 俯卧位组 FiO₂、

PIP, Mpaw、机械通气总时长低于仰卧位组, 差异均有统计学意义 (*P* < 0.05); 两组的 VT、PEEP 差异均无统计学意义 (*P* > 0.05)。见表 4。

表 4 两组患儿的呼吸机参数和通气时长比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	VT (mL/kg)	PEEP (cm H ₂ O)	FiO ₂ (%)	PIP (cm H ₂ O)	Mpaw (cm H ₂ O)	TcSO ₂ (%)	PETCO ₂ (mmHg)	通气时长 (d)
仰卧位组	37	5.5 ± 0.4	5.2 ± 0.5	28 ± 3	19.4 ± 1.3	8.6 ± 0.8	91.4 ± 1.5	50.4 ± 3.0	9 ± 5
俯卧位组	42	5.6 ± 0.4	5.0 ± 0.4	26 ± 2	17.9 ± 1.1	8.1 ± 0.7	92.0 ± 1.7	50.3 ± 3.3	7 ± 4
<i>t</i> 值		-0.67	-1.78	-2.82	-5.72	-2.88	1.18	-0.09	-2.06
<i>P</i> 值		0.245	0.081	0.006	<0.001	0.005	0.074	0.931	0.043

注: [VT] 潮气量; [FiO₂] 吸入氧体积分数; [Mpaw] 平均气道压; [TcSO₂] 经皮血氧饱和度; [PETCO₂] 呼气末二氧化碳分压。

2.3 两组血气分析、氧合指数和生命体征比较

俯卧位组的 P/F 值高于 SG 组，而 OI 值、RR 则较低，差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。两组的

PaO₂、pH、BE、HR、MBP 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 5。

表 5 两组患儿机械通气期间血气分析、氧合指数和生命体征比较

组别	例数	PaO ₂ ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	BE [$P_{50}(P_{25}, P_{75})$]	pH ($\bar{x} \pm s$)	P/F ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	OI ($\bar{x} \pm s$)	HR ($\bar{x} \pm s$, 次/min)	RR ($\bar{x} \pm s$, 次/min)	MBP ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)
仰卧位组	37	56.1 $\pm$ 3.6	-2.0(-4.0, -0.8)	7.41 $\pm$ 0.04	205.0 $\pm$ 23.3	4.2 $\pm$ 0.7	134 $\pm$ 7	56 $\pm$ 5	32.7 $\pm$ 1.7
俯卧位组	42	56.1 $\pm$ 3.6	-2.0(-4.0, 0)	7.38 $\pm$ 0.06	214.6 $\pm$ 19.6	3.8 $\pm$ 0.5	137 $\pm$ 8	44 $\pm$ 6	32.0 $\pm$ 2.2
<i>t</i> (<i>Z</i>) 值		-0.02	(-0.69)	-1.85	1.98	-3.56	1.99	-9.27	-1.43
<i>P</i> 值		0.984	0.493	0.067	0.049	0.001	0.050	<0.001	0.158

注：[P/F]PO₂/FiO₂；[OI] 氧合指数；[MBP] 有创动脉血压平均压。

3 讨论

有研究表明，成人患者俯卧位通气治疗的获益随着通气时间延长而增加^[3]。也有学者对新生儿 RDS 和呼吸衰竭患者采用数小时的俯卧位通气，结果可改善呼吸功能^[5,9]。本研究俯卧位机械通气方案一直延续至呼吸机撤离，更加客观。新生儿特别是早产儿胸廓骨性结构较少，软骨组织较多，胸廓支撑力较软，为避免单一俯卧位通气带来的胸廓受压变形，本研究采取仰卧位和俯卧位轮替正压通气方案，结果发现：俯卧位组和仰卧位组 VT、TcSO₂、PaO₂ 和 PETCO₂ 水平的差异无统计学意义，但俯卧位组的 FiO₂、Mpaw、PIP 和 OI 值较低，而 P/F 比值则较高，提示容量辅助/控制呼吸模式下，采取俯卧位与仰卧位交替，极早产呼吸衰竭患儿能以相同的潮气量和较低的肺内压力获得气体交换，而且氧合功能更好，呼吸力学更为优化。由于重力作用，跨肺压沿重力方向逐渐增加，当呼吸衰竭特别是并发 ARDS 时，仰卧体位下可观察到肺泡沿腹侧到背侧方向依次出现过度扩张区域、可复张区域以及萎陷（不张）区域^[6]。基于成人的研究显示，俯卧位通气可减少机械通气时肺的过度膨胀区域并促进萎陷肺泡的复张^[11-12]。动物实验证实俯卧位通气可以增加背侧肺段的功能残气量和改善肺组织的弹性，肺顺应性增加^[13]。因而本研究患儿氧合功能的改善与胸腔内压力分布间歇轮替，减少了单一体位通气造成的局部肺泡过度萎陷/扩张，沿腹侧到背侧的跨肺压和肺泡张力分布均质化，肺泡分流减少和通气/血流比值提高有关^[4,14-15]。仰卧位时心脏对背侧的肺组织有

重力作用，而俯卧位时肺组织受压面积减少，也是促进肺内压力均质化和肺顺应性改善的重要因素^[16]。但也有研究认为早产儿群体肺部直径较小，重力对通气中气体分布的影响很小，实施俯卧位通气并未带来临床益处^[17]。

本研究还表明，俯卧位与仰卧位交替通气下患儿呼吸频率较慢。推断与患儿的呼吸交换功能得到更好的满足，因而患者的呼吸触发努力和呼吸做工减少有关。有研究证实在俯卧位通气下，早产儿的呼吸暂停频率和呼吸暂停持续时间均较仰卧位通气少^[6]。还有学者研究认为在早产儿中实施俯卧位通气可以增加呼吸时胸腹运动的同步性，有助于改善患儿的通气功能^[18]。这些因素也可能是患儿呼吸更为平稳的原因。俯卧位组较仰卧位组平均机械通气时间减少，提示俯卧位组患儿肺功能的改善更快。俯卧位机械通气获得的较低跨肺压和相对均一的肺泡张力可减轻正压机械通气导致的呼吸机相关性肺损伤（容量伤和萎陷伤），而较低的吸入氧体积分数有助于避免或减轻氧毒性肺损伤^[19-20]，因而俯卧位通气符合保护性通气策略的要求，是俯卧位组患儿能够较早撤离呼吸机的主要原因。保证患儿氧合和气体交换满足机体需求的前提下尽早撤离机械正压通气，恢复生理性胸腔负压通气无疑是打断正压通气与呼吸机相关肺损伤和呼吸机相关性肺炎藕联的最有效方式。

有研究显示，俯卧位通气早产儿的潮气量较之仰卧位增加^[9,18]，本研究中两组的差异无统计学意义，可能与采用的容量辅助/控制模式而非新生儿常用的压力辅助/控制模式有关。随着呼吸机硬件技术的革新和通气技术理念的改变，越来越多

的新生儿医师优先选择容量为目标的通气模式^[21]。

本研究患儿的血压、心率改变仅在转换为俯卧位通气的最初半小时,但随着俯卧时间延长,两组的血压和心率的差异无统计学意义,提示俯卧位通气不影响极早产儿的循环功能。气管插管阻塞或者移位甚至脱落是俯卧位体位转换和通气治疗需要重点关注的问题之一^[22]。体位转换时通常需两名护士体位转换,一名护士负责监控生命体征变化,防止气管插管、血管通路,监护探头等移位或脱落。不稳定的骨折,腹部疾病特别是开放性损伤、血流动力学极不稳定者应避免俯卧位通气^[23]。

综上所述,采取仰卧位、俯卧位轮替通气方式可降低机械通气极早产儿对吸入氧体积分数的需求和正压通气压力、改善氧合功能,从而更早地撤离机械通气。但早产的背景比较复杂,研究对象肺发育成熟度难以准确评估和同质化;而极早产儿的生命体征不稳定,呼吸机转运和保暖等技术尚不完善,俯卧位通气时难以对肺部进行CT等影像学的动态评估。目前对新生儿俯卧位通气时长和体位变化的频率尚无统一的标准和共识,未来可联合多家NICU行多中心、大样本研究,以获得更加客观的数据。

[参 考 文 献]

- [1] Jensen EA, Schmidt B. Epidemiology of bronchopulmonary dysplasia[J]. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*, 2014, 100(3): 145-157.
- [2] Jobe AH. Mechanisms of lung injury and bronchopulmonary dysplasia[J]. *Am J Perinatol*, 2016, 33(11): 1076-1078.
- [3] Guérin C, Reignier J, Richard JC, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome[J]. *N Engl J Med*, 2013, 368(23): 2159-2168.
- [4] Comejo RA, Díaz JC, Tobar EA, et al. Effects of prone positioning on lung protection in patients with acute respiratory distress syndrome[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2013, 188(4): 440-448.
- [5] 李海霞, 张卫星, 刘芳, 等. 呼吸机辅助呼吸下采用俯卧位通气在抢救新生儿呼吸窘迫综合征中的应用[J]. *中国妇幼保健*, 2015, 30(8): 1293-1294.
- [6] Gouna G, Rakza T, Kuissi E, et al. Positioning effects on lung function and breathing pattern in premature newborns[J]. *J Pediatr*, 2013, 162(6): 1133-1137.
- [7] Brunherotti MA, Martinez EZ, Martinez FE. Effect of body position on preterm newborns receiving continuous positive airway pressure[J]. *Acta Paediatr*, 2014, 103(3): e101-e105.
- [8] 姚文秀, 薛辛东, 富建华, 等. 呼吸机撤离后不同体位对新生儿氧合功能的影响[J]. *中国当代儿科杂志*, 2008, 10(2): 121-124.
- [9] 吴杰斌, 蒋红侠, 许红, 等. 俯卧位机械通气对呼吸衰竭新生儿氧合指数的影响[J]. *儿科药学杂志*, 2013, 19(3): 6-9.
- [10] 中华儿科杂志编辑委员会, 中华医学会儿科学分会新生儿学组. 新生儿机械通气常规[J]. *中华儿科杂志*, 2015, 53(5): 327-330.
- [11] Kotani T, Tanabe H, Yusa H, et al. Electrical impedance tomography-guided prone positioning in a patient with acute cor pulmonale associated with severe acute respiratory distress syndrome[J]. *J Anesth*, 2016, 30(1): 161-165.
- [12] Galiatsou E, Kostanti E, Svarna E, et al. Prone position augments recruitment and prevents alveolar overinflation in acute lung injury[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2006, 174(2): 187-197.
- [13] Santini A, Protti A, Langer T, et al. Prone position ameliorates lung elastance and increases functional residual capacity independently from lung recruitment[J]. *Intensive Care Med*, 2015, 3(1): 55-62.
- [14] Aguirre-Bermeo H, Turella M, Bitondo M, et al. Lung volumes and lung volume recruitment in ARDS: a comparison between supine and prone position[J]. *Ann Intensive Care*, 2018, 8(1): 25-34.
- [15] Gattinoni L, Pesenti A, Carlesso E. Body position changes redistribute lung computed-tomographic density in patients with acute respiratory failure: impact and clinical fallout through the following 20 years[J]. *Intensive Care Med*, 2013, 39(11): 1909-1915.
- [16] Mase K, Noguchi T, Tagami M, et al. Compression of the lungs by the heart in supine, side-lying, semi-prone positions[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(9): 2470-2473.
- [17] Hough JL, Johnston L, Brauer S, et al. Effect of body position on ventilation distribution in ventilated preterm infants[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(2): 171-177.
- [18] Oliveira TG, Rego MA, Pereira NC, et al. Prone position and reduced thoracoabdominal asynchrony in preterm newborns[J]. *J Pediatr (Rio J)*, 2009, 85(5): 443-448.
- [19] Sureshbabu A, Syed M, Das P, et al. Inhibition of regulatory-associated protein of mechanistic target of rapamycin prevents hyperoxia-induced lung injury by enhancing autophagy and reducing apoptosis in neonatal mice[J]. *Am J Respir Cell Mol Biol*, 2016, 55(5): 722-735.
- [20] Dargaville PA, Tingay DG. Lung protective ventilation in extremely preterm infants[J]. *J Paediatr Child Health*, 2012, 48(9): 740-746.
- [21] Peng WS, Zhu HW, Shi H, et al. Volume-targeted ventilation is more suitable than pressure-limited ventilation for preterm infants: a systematic review and meta-analysis[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2014, 99(2): 158-165.
- [22] Fineman LD, LaBrecque MA, Shih MC, et al. Prone positioning can be safely performed in critically ill infants and children[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2006, 7(5): 413-422.
- [23] Vasilios Koulouras, Georgios Papathanakos, Athanasios Papathanasiou, et al. Efficacy of prone position in acute respiratory distress syndrome patients: A pathophysiology-based review[J]. *World J Crit Care Med*, 2016, 5(2): 121-136.

(本文编辑: 俞燕)