

持续俯卧位通气在高原重度急性呼吸窘迫综合征患者救治中的应用

韩进海 马四清 孙斌 王皓 孙晓林 贾贵彬

青海省人民医院重症医学科, 西宁 810007

通信作者: 马四清, Email: siqing177@sina.com

【摘要】 目的 探讨不同方式俯卧位通气 (PPV) 对高原重度急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 患者疗效的影响。**方法** 回顾性选择高原地区青海省人民医院重症医学科 2017 年 1 月至 2020 年 1 月收治的符合柏林标准的重度 ARDS 患者。将实施经典 PPV 治疗 (即俯卧 - 仰卧位交替、每日约 16 h) 的患者纳入间断 PPV 组; 将实施改良 PPV 治疗 (每 4 h 交替左、右侧俯卧位 20° ~ 30°、每日 24 h 持续治疗) 的患者纳入持续 PPV 组。分析两组患者治疗前及治疗 72 h 时的氧合指数 (PaO₂/FiO₂)、呼吸力学、呼吸机参数以及机械通气时间、重症监护病房 (ICU) 住院时间和相关并发症等的差异。**结果** 持续 PPV 治疗 18 例, 间断 PPV 治疗 20 例。两组患者性别、年龄、急性生理学及慢性健康状况评分 II (APACHE II) 以及治疗前 PaO₂/FiO₂、肺顺应性、驱动压 (ΔP)、呼气末正压 (PEEP) 等差异均无统计学意义。与治疗前相比, 间断 PPV 组和持续 PPV 组治疗 72 h PaO₂/FiO₂ 明显上升 [mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa): 99.7 ± 15.4 比 55.5 ± 6.3, 121.8 ± 25.3 比 55.1 ± 7.1, 均 P < 0.05], 肺顺应性明显改善 (mL/cmH₂O: 36.8 ± 2.4 比 28.0 ± 2.0, 43.4 ± 6.7 比 27.7 ± 2.1, 均 P < 0.05), ΔP 明显下降 [cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa): 10.5 (10.0, 12.0) 比 13.0 (12.3, 14.0), 10.0 (8.0, 12.0) 比 13.0 (12.0, 14.0), 均 P < 0.05], PEEP 也随之下降 [cmH₂O: 12 (12, 14) 比 14 (13, 14), 10 (8, 10) 比 14 (12, 15), 均 P < 0.05]; 并且持续 PPV 组各指标较间断 PPV 组改善更为显著 [PaO₂/FiO₂ (mmHg): 121.8 ± 25.3 比 99.7 ± 15.4, 肺顺应性 (mL/cmH₂O): 43.4 ± 6.7 比 36.8 ± 2.4, ΔP (cmH₂O): 10.0 (8.0, 12.0) 比 10.5 (10.0, 12.0), PEEP (cmH₂O): 10 (8, 10) 比 12 (12, 14), 均 P < 0.05]。持续 PPV 组患者机械通气时间、ICU 住院时间均较间断 PPV 组明显缩短 [d: 6.0 (5.0, 7.3) 比 8.0 (7.0, 9.0), 9.7 ± 1.5 比 12.1 ± 2.2, 均 P < 0.01]。在 PPV 治疗过程中, 持续 PPV 组患者出现面部皮肤破损 3 例、耳部皮肤破损 2 例, 间断 PPV 组出现面部皮肤破损 3 例, 两组并发症发生率比较差异无统计学意义 (χ² = 0.321, P = 0.571); 所有患者均于 PPV 结束后修复正常, 未造成不良后果。**结论** 持续 PPV 比间断 PPV 在治疗高原重度 ARDS 患者中疗效更显著, 且未增加延长 PPV 时间带来的相关并发症。

【关键词】 急性呼吸窘迫综合征; 高原; 俯卧位通气

基金项目: 青海省科技厅重点研发与转化计划项目 (2019-SF-132); 青海省科技创新创业团队 (2020-66)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200707-00502

Continuous prone position ventilation in patients with severe acute respiratory distress syndrome at high altitude

Han Jinhai, Ma Siqing, Sun Bin, Wang Hao, Sun Xiaolin, Jia Guibin

Department of Intensive Care Unit, Qinghai Provincial People's Hospital, Xining 810007, Qinghai, China

Corresponding author: Ma Siqing, Email: siqing177@sina.com

【Abstract】 Objective To investigate the therapeutic effect of different prone position ventilation (PPV) on patients with severe acute respiratory distress syndrome (ARDS) at high altitude. **Methods** The severe ARDS patients who met the Berlin standard admitted to the department of intensive care unit (ICU) of Qinghai Provincial People's Hospital from January 2017 to January 2020 were enrolled. The patients with classic PPV treatment (i.e. alternate prone supine position, about 16 hours per day) were included in the discontinuous PPV group; the patients with modified PPV treatment (i.e. alternate left and right prone positions 20° - 30°, every 4 hours and continuous treatment for 24 hours per day) were included in the continuous PPV group. The oxygenation index (PaO₂/FiO₂), mechanics of breathing, ventilator parameters before treatment and 72 hours after treatment, and mechanical ventilation time, the length of ICU stay, and related complications between the two groups were analyzed. **Results** Eighteen cases were treated with continuous PPV and 20 cases were treated with discontinuous PPV. There were no significant differences in gender, age, acute physiology and chronic health evaluation II (APACHE II), PaO₂/FiO₂, lung compliance, driving pressure (ΔP) and positive end-expiratory pressure (PEEP) before treatment between the two groups. Compared with before treatment, PaO₂/FiO₂ in discontinuous PPV group and continuous PPV group was increased significantly after 72-hour treatment [mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa): 99.7 ± 15.4 vs. 55.5 ± 6.3, 121.8 ± 25.3 vs. 55.1 ± 7.1, both P < 0.05], lung compliance was improved significantly (mL/cmH₂O: 36.8 ± 2.4 vs. 28.0 ± 2.0, 43.4 ± 6.7 vs. 27.7 ± 2.1, both P < 0.05), and ΔP was decreased significantly [cmH₂O (1 cmH₂O = 0.098 kPa): 10.5 (10.0, 12.0) vs. 13.0 (12.3, 14.0), 10.0 (8.0, 12.0) vs. 13.0 (12.0, 14.0), both P < 0.05], PEEP was also decreased [cmH₂O: 12 (12, 14) vs. 14 (13, 14), 10 (8, 10) vs. 14 (12, 15),

both $P < 0.05$], and the indexes in continuous PPV group were improved more significantly than those in discontinuous PPV group [$\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (mmHg): 121.8 ± 25.3 vs. 99.7 ± 15.4 , lung compliance ($\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$): 43.4 ± 6.7 vs. 36.8 ± 2.4 , ΔP (cmH_2O): 10.0 (8.0, 12.0) vs. 10.5 (10.0, 12.0), PEEP (cmH_2O): 10 (8, 10) vs. 12 (12, 14), all $P < 0.05$]. The duration of mechanical ventilation and the length of ICU stay in the continuous PPV group were significantly shorter than those in the intermittent PPV group [days: 6.0 (5.0, 7.3) vs. 8.0 (7.0, 9.0), 9.7 ± 1.5 vs. 12.1 ± 2.2 , both $P < 0.01$]. During the PPV treatment, there were 3 cases of cheek skin damage and 2 cases of ear skin damage in the continuous PPV group, and 3 cases of facial skin damage in the intermittent PPV group. There was no significant difference in the incidence of complications between the two groups ($\chi^2 = 0.321$, $P = 0.571$). All patients were repaired normally after PPV, without adverse consequences. **Conclusion** Continuous PPV is more effective than discontinuous PPV in the treatment of severe ARDS patients at high altitude, and the related complications are did not increased in prolonged time of PPV.

【Key words】 Acute respiratory distress syndrome; Plateau; Prone position ventilation

Fund program: Key Research and Transformation Project of Qinghai Provincial Science and Technology Department of China (2019-SF-132); Qinghai Science and Technology Innovation and Entrepreneurship Team (2020-66) DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20200707-00502

急性呼吸窘迫综合征 (acute respiratory distress syndrome, ARDS) 以严重呼吸窘迫和顽固性低氧血症为主要临床特征^[1]。由于高原环境的特殊性, 高寒、低氧等因素, 高原 ARDS 诊断标准和治疗策略与平原 ARDS 不尽一致^[2]。尽管 ARDS 患者的呼吸支持水平取得了很大进展, 但重度 ARDS 患者的病死率仍高达 40% 左右^[3]。俯卧位通气 (prone position ventilation, PPV) 是改善 ARDS 患者氧合、减少肺损伤的一种有效手段^[4]。由于 PPV 在治疗过程中会增加并发症的风险, 所以 PPV 使用率仍然很低, 重度 ARDS 患者 PPV 使用率仅为 32.9%^[5]。为防止并发症的发生, 国内外都采用俯卧 - 仰卧交替的经典方法来实施 PPV 治疗, 每日 PPV 总时间在 16 h 左右, 俯卧 - 仰卧位交替时由于通气 / 血流比例的改变, 患者的指标波动较大^[6]。高原地区由于低氧环境, 常规 PPV 方法使患者指标波动比平原地区更加明显, 需要用较高的呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 才能维持指标, 而高 PEEP 很容易引起肺损伤和急性肺源性心脏病 (肺心病)。因此, 经典 PPV 方法不太适合高原环境。研究表明, 延长 PPV 的持续时间可以提高 PPV 的治疗效果^[7]。我们在临床上对 PPV 的体位进行了改良, 即每 4 h 交替左右侧俯卧位, 以维持俯卧位效果的连续性。本研究旨在回顾性分析持续 PPV 对本院高原重度 ARDS 患者呼吸力学、血气分析、呼吸机参数、预后及相关并发症的影响。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 选择本院重症医学科 2017 年 1 月至 2020 年 1 月收治的因重症肺炎致重度 ARDS 患者。

1.1.1 入选标准: ① 根据不同海拔校正氧合指数 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$), 符合柏林标准^[8] 的重度 ARDS 患者 ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2 < 100$ mmHg, $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$) 且 PEEP

或持续气道正压 (continuous positive airway pressure, CPAP) $\geq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ ($1 \text{ cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{ kPa}$) 并入住重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 进行 PPV 治疗; ② 年龄 ≥ 16 周岁, 性别不限; ③ 急性生理学及慢性健康状况评分 II (acute physiology and chronic health evaluation II, APACHE II) ≤ 28 分; ④ 血流动力学稳定 (平均动脉压 $\geq 60 \text{ mmHg}$)。

1.1.2 排除标准: ① 颅内高压患者; ② 颜面部、颈部、脊柱手术及骨折患者; ③ 急性出血患者; ④ 胸、腹部有手术切口或伤口未痊愈者; ⑤ 循环不稳定、心律失常患者; ⑥ PPV 时间 $< 3 \text{ d}$ 和 (或) 每日 PPV 总时间 $< 16 \text{ h}$ 者; ⑦ 中途放弃治疗或死亡者。

1.1.3 伦理学: 本研究通过医院伦理委员会审批 (审批号: 2020513), 所有患者家属均签署过特殊治疗知情同意书。

1.2 分组及治疗情况: 根据治疗情况, 将俯卧 - 仰卧交替实施 PPV 治疗者纳入间断 PPV 组, 将每日 24 h 持续实施 PPV 治疗者纳入持续 PPV 组。

所有患者均接受了经口气管插管 PPV 治疗, 同时给予了镇痛、镇静、适当肌松剂。均采用容量控制通气模式, 根据患者呼吸力学和血气分析指标调整潮气量在 $4 \sim 6 \text{ mL}/\text{kg}$ 进行肺保护性通气, 吸气时间 $0.8 \sim 1.2 \text{ s}$, 呼吸频率 $20 \sim 35$ 次 /min, 以氧合法确定最佳 PEEP, 初始吸入氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO_2) 为 1.00, 后根据患者经皮血氧饱和度逐渐下调呼吸机 FiO_2 。患者均安置于美国屹龙 Hill-rom 床, 由 1 位呼吸治疗师和 4 位护士实施 PPV, 呼吸治疗师在床头负责患者头颈部、人工气道及呼吸管路, 两侧各 2 位护士将患者翻转至俯卧位。

间断 PPV 组患者均为平俯卧位, 头偏向一侧, 用软枕垫受压部位, 每 4 h PPV 与 2 h 仰卧位交替进行, 每日 PPV 治疗的总时间均达到了 16 h。持续

PPV 组患者均为侧俯卧位,头偏向一侧,用软枕垫一侧胸、腹、髋及膝关节使患者处于侧俯卧位 20°~30°,每 4 h 交替左右侧俯卧位,保持每日 24 h 持续 PPV 治疗。均使用减压贴膜保护受压部位;调整床为头高脚底斜坡位约 25°,防止眼睛及面部受压水肿。

1.3 评价指标:收集患者治疗前及治疗 72 h 时的 PaO₂/FiO₂、呼吸力学、呼吸机参数,预后及相关并发症发生情况。

1.4 统计学处理:使用 SPSS 21.0 软件进行统计分析。符合正态分布的计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验,同组治疗前后比较采用配对 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,组间比较采用独立样本秩和检验,同组治疗前后比较采用配对秩和检验。计数资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者一般情况(表 1~2):入选 38 例患者,其中接受间断 PPV 治疗 20 例,持续 PPV 治疗 18 例。两组患者性别、年龄、APACHE II 评分以及治疗前 PaO₂/FiO₂、呼吸力学指标、呼吸机参数比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$)。

组别	例数(例)	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	APACHE II 评分(分, $\bar{x} \pm s$)
		男性	女性		
间断 PPV 组	20	15	5	51.1 ± 14.8	21.9 ± 3.3
持续 PPV 组	18	13	5	50.6 ± 15.7	21.3 ± 3.2
χ^2/t 值		0.038		0.099	0.604
<i>P</i> 值		0.846		0.922	0.550

注:间断 PPV 组为俯卧-仰卧位交替实施俯卧位通气(PPV),持续 PPV 组为持续 24 h 实施 PPV;ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,APACHE II 为急性生理学与慢性健康状况评分 II

2.2 两组 PPV 治疗前后 PaO₂/FiO₂、肺顺应性、驱动压(driving pressure, ΔP)、PEEP 的变化比较(表 2):两组治疗 72 h 时 PaO₂/FiO₂、肺顺应性、 ΔP 、PEEP 均较治疗前明显改善(均 $P < 0.05$),且持续 PPV 组

组别	例数(例)	PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg, $\bar{x} \pm s$)		肺顺应性(mL/cmH ₂ O, $\bar{x} \pm s$)		ΔP [cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]		PEEP[cmH ₂ O, $M(Q_L, Q_U)$]	
		治疗前	治疗 72 h	治疗前	治疗 72 h	治疗前	治疗 72 h	治疗前	治疗 72 h
间断 PPV 组	20	55.5 ± 6.3	99.7 ± 15.4 ^a	28.0 ± 2.0	36.8 ± 2.4 ^a	13.0(12.3, 14.0)	10.5(10.0, 12.0) ^a	14(13, 14)	12(12, 14) ^a
持续 PPV 组	18	55.1 ± 7.1	121.8 ± 25.3 ^a	27.7 ± 2.1	43.4 ± 6.7 ^a	13.0(12.0, 14.0)	10.0(8.0, 12.0) ^a	14(12, 15)	10(8, 10) ^a
<i>t/Z</i> 值		-0.182	3.286	-0.341	3.951	-0.076	-2.130	-0.015	-4.494
<i>P</i> 值		0.857	0.003	0.735	0.001	0.942	0.033	0.988	0.001

注:间断 PPV 组为俯卧-仰卧位交替实施俯卧位通气(PPV),持续 PPV 组为持续 24 h 实施 PPV;ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,PaO₂/FiO₂ 为氧合指数, ΔP 为驱动压, PEEP 为呼气末正压;1 mmHg=0.133 kPa, 1 cmH₂O=0.098 kPa;与本组治疗前比较,^a $P < 0.05$

各指标较间断 PPV 组改善更明显(均 $P < 0.05$)。

2.3 两组机械通气时间和 ICU 住院时间比较(表 3):持续 PPV 组机械通气时间和 ICU 住院时间均较间断 PPV 组明显缩短(均 $P < 0.01$)。

组别	例数(例)	机械通气时间[d, $M(Q_L, Q_U)$]	ICU 住院时间(d, $\bar{x} \pm s$)
间断 PPV 组	20	8.0(7.0, 9.0)	12.1 ± 2.2
持续 PPV 组	18	6.0(5.0, 7.3)	9.7 ± 1.5
<i>Z/t</i> 值		-3.438	-3.821
<i>P</i> 值		<0.001	<0.001

注:间断 PPV 组为俯卧-仰卧位交替实施俯卧位通气(PPV),持续 PPV 组为持续 24 h 实施 PPV;ARDS 为急性呼吸窘迫综合征,ICU 为重症监护病房

2.4 两组皮肤压疮风险比较:在治疗过程中发现,持续 PPV 组患者出现面颊部皮肤破损 3 例、耳部皮肤破损 2 例,间断 PPV 组出现面部皮肤破损 3 例,两组相关并发症发生率比较差异无统计学意义($\chi^2=0.321, P=0.571$)。所有压疮均在 PPV 治疗 72 h 后出现,PPV 结束后均修复正常,未造成不良后果,说明持续 PPV 72 h 以内对皮肤损伤风险较小。

3 讨论

ARDS 患者在机械通气过程中部分肺泡过度充气和塌陷同时存在^[9],很容易出现呼吸机相关性肺损伤和急性肺心病等并发症,在高原地区更容易发生急性肺心病^[10]。影响 ARDS 的主要因素是 ΔP 和 PEEP,因 $\Delta P = \text{平台压} - \text{PEEP}$,故降低平台压和 ΔP 能有效改善 ARDS 患者的预后^[11]。早期采用 PPV(每日 >16 h)能有效改善 ARDS 患者的氧合和呼吸力学指标以及肺部的不均一性^[12],还有利于肺部背端分泌物的引流^[13]。Guérin 等^[14]的一项多中心随机对照试验显示,延长 PPV 时间对 ARDS 患者是有益的,PPV 的持续时间似乎会影响患者的预后。本研究共纳入 38 例高原重度 ARDS 患者,在肺保护性通气策略的基础上早期采取 PPV 治疗,结果显示,两种方式 PPV 均能改善重度 ARDS 患者的氧合、

肺顺应性和 ΔP , 呼吸机所需 PEEP 也随之下降, 且持续 PPV 组较间断 PPV 组改善更明显。间断 PPV 时俯卧 - 仰卧位交替应用, 由于重力依赖, 俯卧位时开放的部分肺泡在仰卧位时又出现塌陷, 这时需要较高的 PEEP 才能维持肺泡开放和氧合^[15]。持续 PPV 患者不会有再次肺泡塌陷的机会, 肺泡持续处于开放状态, 指标的改善和维持比较稳定。说明持续 PPV 更有利于高原重度 ARDS 患者呼吸力学的改善, 可明显减轻机械通气带来的相关性肺损伤。机械通气导致的肺应力取决于 PEEP、 ΔP 及肺顺应性, 所以, 治疗过程中只有严格控制 PEEP 和 ΔP , 才能更好地避免心肺再损伤^[16]。

高原 ARDS 患者出现严重低氧血症是加剧器官功能损伤的主要诱因, 因此, 重度 ARDS 患者早期积极纠正低氧血症是首要任务, 大多数重度 ARDS 患者 PPV 后 PaO_2/FiO_2 可明显改善。本研究显示, 两种方式 PPV 治疗均能改善高原重度 ARDS 患者 PaO_2/FiO_2 , 但是持续 PPV 组较间断 PPV 组 PaO_2/FiO_2 改善更明显, 并且发现, 间断 PPV 在仰卧 - 俯卧位交替时氧合波动较大, 可能由于变换体位时通气 / 血流比例严重失调所致^[17], 而持续 PPV 能始终保持患者最佳的通气 / 血流比例。持续 PPV 患者由于重力依赖使背段塌陷实变的肺泡随着时间的延长持续复张, 参与通气的面积越来越大, 所以改善氧合更加明显、稳定。

综上, 本研究显示, 持续 PPV 较间断 PPV 更能显著改善高原重度 ARDS 患者的氧合和呼吸力学, 疗效更明显, 并能缩短机械通气时间和 ICU 住院时间。但持续 PPV 会增加治疗护理难度和相关风险, 需要经验丰富的医护团队。只要加强护理, 提前预防可能会发生的问题, 才有可能有效防止治疗过程中带来的并发症^[18]。本研究中持续 PPV 组并未发现意外脱管、误吸、皮肤压疮等并发症的增加。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

[1] 贾子毅, 刘晓伟, 刘志. 机械通气氧合指数对 ARDS 患者预后评估的价值: 附 228 例回顾性分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2017, 29 (1): 45-50. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.01.010.
Jia ZY, Liu XW, Liu Z. Evaluation value of oxygenation index of mechanical ventilation on the prognosis of patients with ARDS: a retrospective analysis with 228 patients [J]. Chin Crit Care Med, 2017, 29 (1): 45-50. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2017.01.010.

[2] 马四清, 罗勇军. 高原急性呼吸窘迫综合征诊断与治疗进展 [J]. 第三军医大学学报, 2019, 41 (8): 729-733. DOI: 10.16016/j.1000-5404.201812015.
Ma SQ, Luo YJ. Progress in diagnosis and treatment of high-altitude acute respiratory distress syndrome [J]. J Third Mil Med Univ, 2019, 41 (8): 729-733. DOI: 10.16016/j.1000-5404.201812015.

[3] Bellani G, Laffey JG, Pham T, et al. Epidemiology, patterns of care,

and mortality for patients with acute respiratory distress syndrome in intensive care units in 50 countries [J]. JAMA, 2016, 315 (8): 788-800. DOI: 10.1001/jama.2016.0291.

[4] Guerin C, Gaillard S, Lemasson S, et al. Effects of systematic prone positioning in hypoxemic acute respiratory failure: a randomized controlled trial [J]. JAMA, 2004, 292 (19): 2379-2387. DOI: 10.1001/jama.292.19.2379.

[5] 孙庆文, 朱满桂, 席寅, 等. 俯卧位通气对合并间质性肺病的急性呼吸窘迫综合征患者呼吸动力学和预后的影响 [J]. 中华危重病急救医学, 2015, 27 (10): 785-790. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.10.001.
Sun QW, Zhu MG, Xi Y, et al. Effect of prone position ventilation on respiratory mechanics and prognosis in patients with acute respiratory distress syndrome concurrent with interstitial lung disease [J]. Chin Crit Care Med, 2015, 27 (10): 785-790. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2015.10.001.

[6] 杜玉明, 李岩, 孙荣青, 等. 俯卧位通气对重症肺炎患者氧合影响的 Meta 分析 [J]. 中华危重病急救医学, 2018, 30 (4): 327-331. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.04.008.
Du YM, Li Y, Sun RQ, et al. Meta analysis of observing prone position ventilation role in the oxygenation of severe pneumonia patients [J]. Chin Crit Care Med, 2018, 30 (4): 327-331. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2018.04.008.

[7] Mancebo J, Fernández R, Blanch L, et al. A multicenter trial of prolonged prone ventilation in severe acute respiratory distress syndrome [J]. Am J Respir Crit Care Med, 2006, 173 (11): 1233-1239. DOI: 10.1164/rccm.200503-3530C.

[8] ARDS Definition Task Force. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition [J]. JAMA, 2012, 307 (23): 2526-2533. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.

[9] Koulouras V, Papathanakos G, Papathanasiou A, 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. DOI: 10.5492/wjccm.v5.i2.121.

[10] Ma SQ, Peng SH, He ZZ, et al. Changes of microcirculation in healthy volunteers and patients with septic shock in Xining [J]. Chin J Appl Physiol, 2016, 32 (6): 533-539. DOI: 10.13459/j.cnki.cjap.2016.06.011.

[11] 吴晓燕, 庄志清, 郑瑞强, 等. 跨肺压导向急性呼吸窘迫综合征患者最佳呼气末正压选择的临床研究 [J]. 中华危重病急救医学, 2016, 28 (9): 801-806. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.007.
Wu XY, Zhuang ZQ, Zheng RQ, et al. Transpulmonary pressure guided optimal positive end-expiratory pressure selection in patients with acute respiratory distress syndrome [J]. Chin Crit Care Med, 2016, 28 (9): 801-806. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-4352.2016.09.007.

[12] Przybysz TM, Heffner AC. Early treatment of severe acute respiratory distress syndrome [J]. Emerg Med Clin North Am, 2016, 34 (1): 1-14. DOI: 10.1016/j.emc.2015.08.001.

[13] 顾利慧, 周丹丹, 吴都. 头高足低侧俯卧位通气治疗预防呼吸机相关性肺炎的临床研究 [J]. 护理与康复, 2015, 14 (1): 59-61. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9875.2015.01.022.
Gu LH, Zhou DD, Wu D. Clinical study on the treatment and prevention of ventilator associated pneumonia by prone position ventilation with high head and low feet [J]. Nurs Rehabil J, 2015, 14 (1): 59-61. DOI: 10.3969/j.issn.1671-9875.2015.01.022.

[14] Guérin C, Reigner J, Richard JC, et al. Prone positioning in severe acute respiratory distress syndrome [J]. N Engl J Med, 2013, 368 (23): 2159-2168. DOI: 10.1016/j.jemmed.2013.10.020.

[15] 陈曦, 吴奇云, 王馨, 等. 俯卧位通气对急性呼吸窘迫综合征患者影响的 Meta 分析 [J]. 解放军护理杂志, 2016, 33 (7): 20-23, 27. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9993.2016.07.005.
Chen X, Wu QY, Wang X, et al. Influence of ventilation in prone position on patients with acute respiratory distress syndrome: a Meta analysis [J]. Nurs J Chin PLA, 2016, 33 (7): 20-23, 27. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9993.2016.07.005.

[16] Jesudason R, Sato S, Parameswaran H, et al. Mechanical forces regulate elastase activity and binding site availability in lung elastin [J]. Biophys J, 2010, 99 (9): 3076-3083. DOI: 10.1016/j.bpj.2010.09.018.

[17] 韩惠芳, 徐宇红, 岳静燕, 等. 俯卧位不同翻身时间对急性呼吸窘迫综合征机械通气患者的影响 [J]. 中华护理杂志, 2013, 48 (10): 923-925. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2013.10.020.
Han HF, Xu YH, Yue JY, et al. Study on the time of position change in acute respiratory distress syndrome patients treated with prone position mechanical ventilation [J]. Chin J Nurs, 2013, 48 (10): 923-925. DOI: 10.3761/j.issn.0254-1769.2013.10.020.

[18] Dirkes S, Dickinson S, Havey R, et al. Prone positioning: is it safe and effective? [J]. Crit Care Nurs Q, 2012, 35 (1): 64-75. DOI: 10.1097/CNQ.0b013e31823b20c6.

(收稿日期: 2020-07-07)