

论著·临床研究

高频振荡通气与常频通气治疗小儿急性呼吸窘迫综合征疗效的 Meta 分析

乔俊英¹ 李远哲¹ 王贺义¹ 张帅丹²

(1. 郑州大学第三附属医院儿科, 河南 郑州 450052; 2. 浙江中医药大学, 浙江 杭州 310051)

[摘要] **目的** 系统评价高频振荡通气(HFOV)与常频机械通气(CMV)治疗小儿急性呼吸窘迫综合征(ARDS)的疗效。**方法** 计算机检索 The Cochrane Library、PubMed、Medline、中国知网(CNKI)、万方(Wanfang Data)等数据库,收集关于HFOV与CMV比较治疗儿童ARDS的随机对照试验,检索时限从建库至2016年7月。由两位评价员按照纳入与排除标准独立筛选文献、提取资料并对文献质量进行评价,然后采用RevMan 5.3软件将纳入的研究进行Meta分析。**结果** 最终纳入6项试验,共246例患儿。Meta分析结果显示:HFOV和CMV两种通气方式治疗在院内病死率或30 d病死率、气压伤发生率、平均通气时间和氧合指数方面差异均无统计学意义($P>0.05$);但相较CMV,HFOV提高了 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 比值(治疗后24 h、48 h、72 h分别提高了17%、24%、31%),改善了患儿氧合。**结论** 与CMV相比,HFOV并没有降低ARDS患儿的病死率,但可显著改善氧合状态。最终结论尚需更多大样本、多中心、随机的临床对照研究进一步验证。

[中国当代儿科杂志, 2017, 19(4): 430-435]

[关键词] 高频振荡通气;常频机械通气;急性呼吸窘迫综合征;Meta分析;儿童

A Meta analysis of the efficacy of high-frequency oscillatory ventilation versus conventional mechanical ventilation for treating pediatric acute respiratory distress syndrome

QIAO Jun-Ying, LI Yuan-Zhe, WANG He-Yi, ZHANG Shuai-Dan. Department of Pediatrics, The Third Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China (Email: junying.qiao@163.com)

Abstract: Objective To systematically assess the clinical efficacy of high-frequency oscillatory ventilation (HFOV) and conventional mechanical ventilation (CMV) for treating pediatric acute respiratory distress syndrome (ARDS). **Methods** Data from randomized controlled trials comparing HFOV and CMV in the treatment of pediatric ARDS published before July 2016 were collected from the Cochrane Library, PubMed, Medline, CNKI, and Wanfang Data. Literature screening, data extraction, and quality assessment were performed by two independent reviewers according to the inclusion and exclusion criteria. The selected studies were then subjected to a Meta analysis using the RevMan 5.3 software. **Results** A total of 6 studies involving 246 patients were included. The results of the Meta analysis showed that there were no significant differences between the HFOV and CMV groups in the in-hospital or 30-day mortality rate, incidence of barotrauma, mean ventilation time, and oxygenation index ($P>0.05$). However, compared with CMV, HFOV increased the $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ ratio by 17%, 24%, and 31% at 24, 48, and 72 hours after treatment respectively, and improved oxygenation in patients. **Conclusions** Although the mortality rate is not reduced by HFOV in children with ARDS, this treatment can result in significant improvement in oxygenation compared with CMV. Further large-sample, multicenter, randomized clinical trials will be required to draw a definitive conclusion.

[Chin J Contemp Pediatr, 2017, 19(4): 430-435]

Key words: High-frequency oscillatory ventilation; Conventional mechanical ventilation; Acute respiratory distress syndrome; Meta analysis; Child

小儿急性呼吸窘迫综合征 (ARDS) 为儿科常见危重症, 病死率较高^[1], 是由各种肺内外因素导致肺部急性弥漫性损伤进而发展为急性呼吸衰竭。其主要病理生理学改变是肺容积减少、肺顺应性降低, 以及严重的通气/血流比例失调, 临床表现为顽固性低氧血症和呼吸窘迫。机械通气是治疗 ARDS 的有效方法^[2], 高频震荡通气 (HFOV) 是儿科临床最常用、最有效的高频通气方式, 与常频机械通气 (CMV) 相比, 具有潮气量小、频率高等特点, 理论上作为一种肺保护性通气策略可作为治疗 ARDS 的重要通气支持模式^[3]。为比较 HFOV 与 CMV 治疗 ARDS 的疗效, 本研究搜索国内外关于 HFOV 和 CMV 治疗 ARDS 的随机对照试验, 并对其资料数据进行整合, 利用 Meta 分析的方法比较两种通气模式治疗小儿 ARDS 的疗效。

1 资料与方法

1.1 纳入与排除标准

(1) 研究人群: 研究对象为儿童 ARDS 患者, 且需要机械通气治疗。

(2) 干预措施: 试验组采用 HFOV 治疗; 对照组采用 CMV 治疗。

(3) 结局指标: ①院内病死率或 30 d 病死率; ②机械通气不良事件发生率 (如气压伤发生率); ③平均通气时间; ④动脉血氧分压 (PaO₂) 与吸入氧浓度 (FiO₂) 比值 (PaO₂/FiO₂); ⑤氧合指数 [OI; OI=(FiO₂×平均动脉压×100)/PaO₂]; ⑥二氧化碳分压 (PaCO₂)。

(4) 研究类型: 随机对照试验。

(5) 排除标准: ①非随机对照试验; ②研究对象包含成人的试验; ③研究设计存在明显缺陷; ④统计学分析方法错误。

1.2 检索策略

计算机检索 Cochrane 图书馆、PubMed、Medline、中国知网 (CNKI)、万方 (Wanfang Data) 等数据库, 收集关于 HFOV 与 CMV 比较治疗小儿 ARDS 的随机对照试验, 检索时限从建库至 2016 年 7 月。中文文献检索词包括高频振荡通气、急性呼吸窘迫综合征等。英文检索词包括 “high frequency oscillatory ventilation” “acute respiratory distress syndrome” “acute respiratory failure” 等。

1.3 资料提取与质量评价

两名评价员独立提取以下信息: 第一作者、发表时间、研究类型、试验组与对照组基本资料、结局指标等。之后交叉核对, 对有分歧的通过讨论或交予第三方进行决断。对于数据不全的文献联系原作者或通讯作者以获得完整数据。

采用改良 Jadad 量表评分法^[4]对入选文献进行质量评定: (1) 随机方法是否正确; (2) 是否做到分配隐藏; (3) 是否盲法; (4) 基线是否一致; (5) 是否采用意向性分析。每项 1 分, 共 5 分。1~2 分为低质量研究, 3~5 分为高质量研究。

1.4 统计学分析

采用 RevMan5.3 软件进行 Meta 分析, 计数资料采用风险比 (RR) 及其 95%CI 进行统计分析, 计量资料采用均数差 (MD) 及其 95%CI 进行统计分析, 对于率的比较采用倒方差法对其比率进行合并, 之后进行统计分析。并用 χ^2 值对各研究间的异质性进行检验。若研究间异质性较低 ($P>0.1$, $I^2<50%$), 则采用固定效应模型进行 Meta 分析; 若研究间异质性较高 ($P<0.1$, $I^2>50%$), 则分析其异质性来源, 对可能导致异质性的因素进行亚组分析; 若其异质性有统计学意义而无临床意义, 则采用随机效应模型进行分析。

2 结果

2.1 文献检索结果

文献纳入情况: 经检索得到 630 篇文献, 通过阅读标题/摘要排除重复、动物实验、综述、包含成人的研究 544 篇, 进一步阅读全文后排除非随机研究、以摘要形式发表的研究 80 篇, 最终得到 3 篇英文^[5-7], 3 篇中文^[8-10], 共 6 篇文献, 累计 246 例患者。

2.2 纳入研究的基本特征和文献质量评价

所纳入的 6 项研究的基本特征见表 1, 初始通气参数见表 2。其中文献^[5-6]中 ARDS 的诊断依据氧合指数和/或通气参数结合患儿临床表现; 文献^[7-8,10]中 ARDS 的诊断依据 2012 年柏林会议制定的 ARDS 诊断标准^[11], 文献^[9]中 ARDS 的诊断依据 1994 年美国 and 欧洲 ARDS 会议共识 ARDS 诊断标准^[12]。纳入 6 项研究^[5-10]的 Jadad 评分分别为 3、4、4、3、3、2 分, 平均大于 3 分。

表 1 纳入研究的基本特征

| 纳入研究 | CMV/ HFOV (例) | 性别(男/女,例) | | 年龄($\bar{x} \pm s$ 或范围) | | 评分($\bar{x} \pm s$) | | 结局指标 |
|--------------------------------------|---------------------|-----------|-------|--------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|--------|
| | | CMV | HFOV | CMV | HFOV | PRISM (CMV/HFOV) | PCIS(CMV/ HFOV) | |
| Arnold 1994 ^[5] | 29/29 | 19/10 | 20/9 | 2.5 ± 2.5 岁 | 3.1 ± 3.3 岁 | 11 ± 5 / 11 ± 5 | - | ①②③⑤⑥ |
| Samransamruajkit 2005 ^[6] | 10/6 | - | - | 8.4 ± 1.6 岁 | 2.5 ± 0.7 岁 | - | - | ①②③④⑤⑥ |
| Samransamruajkit 2016 ^[7] | 9/9 | - | - | 62.5 ± 66.7 月 | 32.9 ± 54.9 月 | 11.5 ± 8.1/ 12.5 ± 10.7 | - | ①②④⑤⑥ |
| 耿文锦 2015 ^[8] | 33/30 | 18/15 | 17/13 | 7.2 ± 1.8 月 | 8.1 ± 2.3 月 | - | 70.6 ± 12.8/ 72.5 ± 13.7 | ①②③④⑤ |
| 金志鹏 2014 ^[9] | 14/12 | - | - | 45 ± 21 月 | 47 ± 18 月 | - | 30 ± 11/29 ± 13 | ②③④⑥ |
| 张群群 2014 ^[10] | 32/33 | - | - | 3~108 月 | 3~108 月 | - | - | ②③⑤ |

注: [HFOV] 高频振荡通气; [CMV] 常频机械通气; [PRISM] 小儿死亡危险评分; [PCIS] 小儿危重症评分。“-” 示未提及。“结局指标” 中, ①: 病死率; ②: 不良事件; ③: 平均通气时间; ④: PaO₂/FiO₂ 比值; ⑤: 氧合指数; ⑥: PaCO₂。

表 2 纳入研究的原始通气参数

| 纳入研究 | 频率 / 模式 | | FiO ₂ | | PEEP (CMV) | 平均气道压 (HFOV) |
|--------------------------------------|---------|---------|------------------|---------|-----------------------------|---------------------------------|
| | CMV | HFOV | CMV | HFOV | | |
| Arnold 1994 ^[5] | PL | 5~10 Hz | 0.6 | 0.6 | 临床医师决定 | 比 CMV 高 4~8 cm H ₂ O |
| Samransamruajkit 2005 ^[6] | PC | 4~10 Hz | - | - | 依据 ARDS 医疗计划书 | 比 CMV 高 2~3 cm H ₂ O |
| Samransamruajkit 2016 ^[7] | - | - | - | - | 15~20 cm H ₂ O | 30 cm H ₂ O |
| 耿文锦 2015 ^[8] | PC/PRVC | 9~12 Hz | - | 0.6~1.0 | 5~10 cm H ₂ O | 18~25 cm H ₂ O |
| 金志鹏 2014 ^[9] | PC | 7 Hz | 0.4~0.8 | 0.4~0.8 | 比低拐点高 2 cm H ₂ O | 15 cm H ₂ O |
| 张群群 2014 ^[10] | PC | 8~12 Hz | 0.6~0.8 | 0.8~1.0 | 4~6 cm H ₂ O | 15~30 cm H ₂ O |

注: [HFOV] 高频振荡通气; [CMV] 常频机械通气; [PL] 压力限制; [PC] 压力控制; [PRVC] 压力调节容积控制; [FiO₂] 吸入氧浓度; [PEEP] 呼气末正压。“-” 示未提及。

2.3 Meta 分析结果

2.3.1 病死率 共 4 个研究^[5-8] 比较了两组的院内或 30 d 病死率。各研究间异质性无统计学意义 ($P=0.98, I^2=0\%$), 故采用固定效应模型。Meta 分析结果显示, 两组病死率比较差异无统计学意义 ($RR=0.77, 95\%CI: 0.51\sim 1.18, P=0.23$) (图 1)。

2.3.2 气压伤发生率 共 4 个研究^[5,6,8,10] 比较了两组的气压伤发生率。各研究间异质性无统计学意义 ($P=0.92, I^2=0\%$), 故采用固定效应模型。Meta 分析结果显示, 两组气压伤发生率差异无统计学意义 ($RR=0.59, 95\%CI: 0.30\sim 1.16, P=0.12$)。

2.3.3 平均通气时间 共 5 个研究^[5,6,8-10] 比较了两组的平均通气时间。各研究间异质性有统计学意义 ($P=0.09, I^2=50\%$), 故采用随机效应模型。Meta 分析结果显示, 两组平均通气时间比较差异无统计学意义 ($MD=-0.97, 95\%CI: -2.15\sim 0.21, P=0.11$)。

2.3.4 PaO₂/FiO₂ 比值 共 4 个研究^[6-9] 涉及到了两组 PaO₂/FiO₂ 比值的比较, 统一采用随机效应模型。亚组分析结果显示, 在第 24 h、48 h 和 72 h, HFOV 组较 CMV 组 PaO₂/FiO₂ 比值分别增加了 17%、24% 和 31%, 见图 2。

2.3.5 OI 共 5 个研究^[5-8,10] 涉及到了两组 OI 值的比较, 统一采用随机效应模型。亚组分析结果显示, 第 24 h、48 h 和 72 h, 平均数比值分别为 0.91、0.92、0.86 ($P>0.05$), 两组的 OI 值比较差异无统计学意义。

2.3.6 PaCO₂ 共 4 个研究^[5-7,9] 涉及到了两组 PaCO₂ 值的比较, 统一采用随机效应模型。亚组分析结果显示在第 24 h 和 72 h, 两组的 PaCO₂ 值差异无统计学意义, 在 48 h, HFOV 组的 PaCO₂ 值低于 CMV 组。但是, 由于 3 组的异质性均较大 (I^2 分别为 94%、81%、92%), 使其统计学意义无法解释, 见图 3。

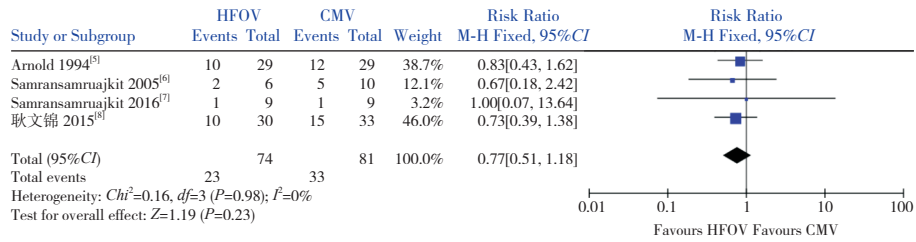


图 1 两组病死率的比较

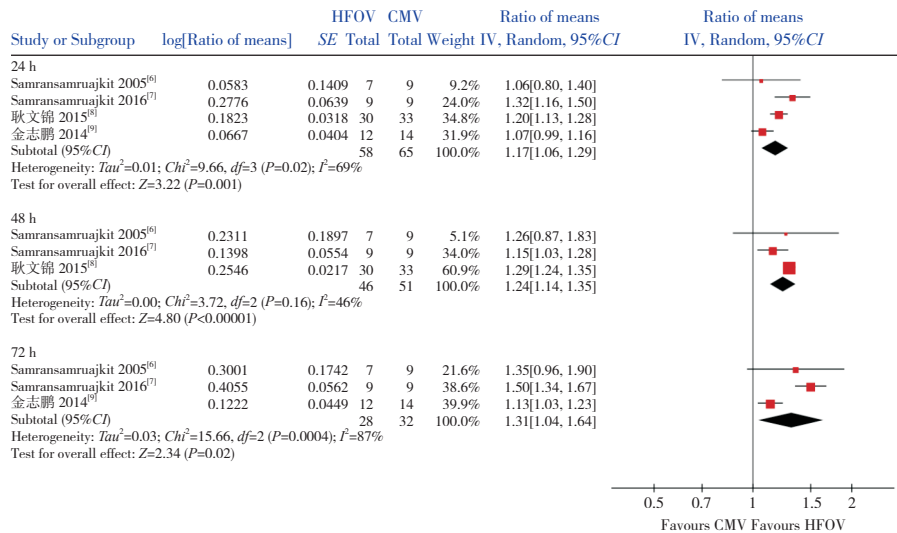


图 2 两组 PaO₂/FiO₂ 比值的比较

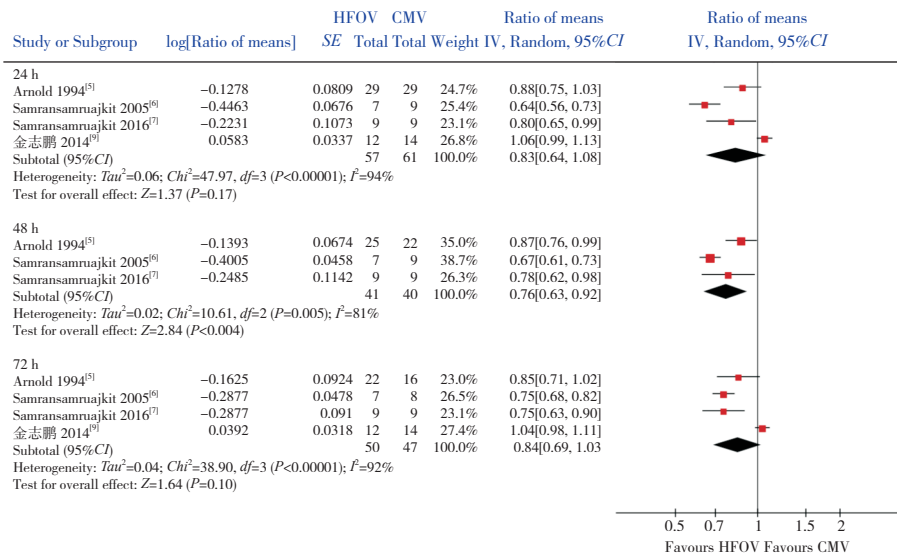


图 3 两组 PaCO₂ 的比较

2.4 敏感性分析

为排除文献时间跨度大所带来的差异性，剔除 1994 年的文献^[5]，纳入近 10 年的研究文献进

行敏感性分析。如表 3 所示：敏感性分析与总体 Meta 森林图分析的结果趋向基本一致，提示纳入文献的差异性较小。

表 3 敏感性分析

| 项目 | P 值 | RR/MD/ 均数比值及其 95%CI |
|---------------------------------------|----------|---------------------|
| 病死率 | 0.27 | 0.73(0.42, 0.28) |
| 气压伤发生率 | 0.16 | 0.56(0.24, 1.27) |
| 平均通气时间 | 0.15 | -0.94(-2.24, 0.35) |
| PaO ₂ /FiO ₂ 比值 | | |
| 24 h | 0.001 | 1.17(1.06, 1.29) |
| 48 h | <0.00001 | 1.24(1.14, 1.35) |
| 72 h | 0.02 | 1.31(1.04, 1.64) |
| OI | | |
| 24 h | 0.11 | 0.88(0.75, 1.03) |
| 48 h | <0.00001 | 0.89(0.85, 0.93) |
| 72 h | 0.08 | 0.82(0.66, 1.02) |
| PaCO ₂ | | |
| 24 h | 0.27 | 0.82(0.57, 1.17) |
| 48 h | <0.00001 | 0.70(0.61, 0.80) |
| 72 h | 0.18 | 0.84(0.65, 1.08) |

3 讨论

ARDS 患儿肺部病变具有“小肺”“不均一性”等特点，若使用大潮气量通气时气体不易均匀分布：萎陷的肺泡仍处于塌陷状态，而肺顺应性较好的肺泡则过度扩张，二者之间产生的剪切力可进一步加重肺损伤。因此 ARDS 患儿机械通气的目标应为：复张萎陷的肺泡并维持其开放状态，以改善氧合；同时避免肺泡过度扩张和反复启闭造成的损伤。最新 ARDS 柏林标准将急性肺损伤 (acute lung injury, ALI) 的诊断标准取消，而依据 PaO₂/FiO₂ 比值将 ARDS 分为轻、中、重度。随后，国际小儿急性肺损伤共识会议 (International Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference) 对小儿 ARDS 定义做了进一步解释说明^[13]。目前，ARDS 患儿机械通气模式的选择尚无定论，但大多数学者认为应尽早行机械通气，HFOV 是儿科临床最常用、最有效的高频通气方式。HFOV 以较高频率 (500~3000/min) 将远小于解剖死腔量的气体送进或抽出气道，突出特点是呼气与吸气都为主动，避免高碳酸血症。与 CMV 相比，HFOV 采用肺保护性通气策略^[14]，通过设置较高平均气道压，可有效复张塌陷的肺泡，加上高频的小潮气量通气，理论上可有效避免肺损伤。HFOV 还可改善患儿氧合状态^[15]、减轻肺水肿和

肺部炎症反应^[16-17]，且可联合骨髓间充质干细胞 (bone mesenchymal stem cells)^[18]、吸入一氧化氮 (inhaled nitric oxide)^[19-20]、部分液体通气 (partial liquid ventilation)^[21]、肺表面活性物质 (pulmonary surfactant)^[22] 替代疗法、亚低温^[23] 等模式治疗小儿 ARDS，取得较好的治疗效果。尽管现在对于 HFOV 研究越来越深入，但 HFOV 应用于临床的循证医学证据仍不足，且其主要目标群体为成人，成人与小儿 ARDS 在主要诱因、并发症、呼吸机设置及预后等方面仍存在较大差异^[24-25]。由于单独以儿童为研究对象来比较 HFOV 和 CMV 对 ARDS 患儿的疗效的临床研究较少，既往 Meta 分析大多将成人与儿童研究合并分析^[14,26] 或单独研究成人^[27-28]，本研究首次以儿童为唯一研究对象。

HFOV 是 ARDS 重要治疗措施，然而 HFOV 能否改善 ARDS 患儿预后仍然存在争议。本 Meta 分析结果显示：HFOV 组和 CMV 组病死率、气压伤发生率、平均通气时间以及 OI 值的比较差异无统计学意义，但 HFOV 治疗可显著提高患儿的 PaO₂/FiO₂ 比值，改善氧合，并可降低患儿 48 h 的 PaCO₂ 值，但两种通气方式在降低患儿 24 h 和 72 h 的 PaCO₂ 数值方面差异无统计学意义。尽管如此，就此否定 HFOV 在 ARDS 治疗中的作用仍为时尚早，选择合适的 HFOV 时机，选择可能从 HFOV 中受益的患儿，设置合适的呼吸机参数，丰富的临床应用经验等诸多因素均可能影响其临床疗效。如果病情进展到晚期，CMV 应用无效时方给予 HFOV，疗效可能也不满意。因此，需要更多的研究以确定从 HFOV 中获益的临床标准，为选择合适的 ARDS 患儿进行 HFOV 治疗提供参考依据。

综上所述，与 CMV 相比较，HFOV 虽并未显著降低 ARDS 患儿病死率，但可显著改善其氧合，缓解缺氧症状，其不应局限于作为 CMV 失败的补救手段，更应成为 ARDS 患儿机械通气的首选模式，但临床医师应根据患儿的具体情况合理选择。本研究也有一定局限性：(1) 纳入研究较少，仅 6 篇文献被纳入；(2) 纳入病例数较少；(3) 纳入研究间年限跨度大 (1994~2016 年)，期间的医疗水平发生了显著变化，从而引起相应的研究偏倚。因此，尚需更多大样本、多中心、随机的临床对照研究进一步探讨 HFOV 在 ARDS 中的应用。

[参 考 文 献]

- [1] 喻文亮, 陆铸今, 王莹, 等. 小儿急性呼吸窘迫综合征前瞻性多中心临床流行病学研究[J]. 中华急诊医学杂志, 2005, 14(6): 448-453.
- [2] 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.
- [3] Krishnan JA, Brower RG. High-frequency ventilation for acute lung injury and ARDS[J]. *Chest*, 2000, 118(3): 795-807.
- [4] Banares R, Albillos A, Rincon D, et al. Endoscopic treatment versus endoscopic plus pharmacologic treatment for acute variceal bleeding: a meta-analysis[J]. *Hepatology*, 2002, 35(3): 609-615.
- [5] Arnold JH, Hanson JH, Toro-Figuero LO, et al. Prospective, randomized comparison of high-frequency oscillatory ventilation and conventional mechanical ventilation in pediatric respiratory failure[J]. *Crit Care Med*, 1994, 22(10): 1530-1539.
- [6] Samransamruajkit R, Prapphal N, Deelodegenavong J, et al. Plasma soluble intercellular adhesion molecule-1(sICAM-1) in pediatric ARDS during high frequency oscillatory ventilation: a predictor of mortality[J]. *Asian Pac J Allergy Immunol*, 2005, 23(4): 181-188.
- [7] Samransamruajkit R, Rassameehirun C, Pongsanon K, et al. A comparison of clinical efficacy between high frequency oscillatory ventilation and conventional ventilation with lung volume recruitment in pediatric acute respiratory distress syndrome: A randomized controlled trial[J]. *Indian J Crit Care Med*, 2016, 20(2): 72-77.
- [8] 耿文锦, 曹利静, 徐梅先, 等. 高频振荡机械通气治疗儿童麻疹肺炎合并重度急性呼吸窘迫综合征临床研究[J]. 中国小儿急救医学, 2015, 22(12): 844-847.
- [9] 金志鹏, 王琪, 成怡冰, 等. 高频振荡通气与常规机械通气对急性呼吸窘迫综合征患儿血管外肺水及临床疗效影响[J]. 中国小儿急救医学, 2014, 21(5): 304-306.
- [10] 张群群, 马素丽, 王琪. 高频振荡通气治疗小儿急性呼吸窘迫综合征疗效观察[J]. 中国实用医药, 2014, 9(29): 115-116.
- [11] Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition[J]. *JAMA*, 2012, 307(23): 2526-2533.
- [12] Bernard GR, Artigas A, Brigham KL, et al. The American-European Consensus Conference on ARDS: definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 1994, 149(3 Pt 1): 818-824.
- [13] Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference Group. Pediatric acute respiratory distress syndrome: consensus recommendations from the Pediatric Acute Lung Injury Consensus Conference[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2015, 16(5): 428-439.
- [14] Sud S, Sud M, Friedrich JO, et al. High frequency oscillation in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome (ARDS): systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ*, 2010, 340: c2327.
- [15] Pinzon AD, Rocha TS, Ricachinevsky C, et al. High-frequency oscillatory ventilation in children with acute respiratory distress syndrome: experience of a pediatric intensive care unit[J]. *Rev Assoc Med Bras*, 2013, 59(4): 368-374.
- [16] Li QJ, Yuan Y, Li YM, et al. Effect of high frequency oscillatory ventilation on EVLW and lung capillary permeability of piglets with acute respiratory distress syndrome caused by pulmonary and extrapulmonary insults[J]. *J Huazhong Univ Sci Technol Med Sci*, 2015, 35(1): 93-98.
- [17] Jian MY, Koizumi T, Yokoyama T, et al. Comparison of acid-induced inflammatory responses in the rat lung during high frequency oscillatory and conventional mechanical ventilation[J]. *Inflamm Res*, 2010, 59(11): 931-937.
- [18] Weiss DJ. Cell therapies for ARDS: a promising start[J]. *Lancet Respir Med*, 2015, 3(1): 2-3.
- [19] Ronchi CF, Ferreira AL, Campos FJ, et al. Interactive effects of mechanical ventilation, inhaled nitric oxide and oxidative stress in acute lung injury[J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 2014, 190: 118-123.
- [20] 康文清, 孙慧清, 陈宇辉, 等. 吸入一氧化氮联合高频震荡通气治疗新生儿严重低氧血症的预后[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2013, 28(18): 1402-1404.
- [21] Zuo H, Zeng L, Guo G, et al. High-frequency oscillatory ventilation combined with partial liquid ventilation in experimental lung injury: effects on lung cell apoptosis[J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2015, 127(15-16): 606-611.
- [22] 郭光华, 王少根, 付忠华, 等. 高频振荡通气及与肺表面活性物质联用对吸入性损伤家兔肺炎性反应的影响[J]. 中华烧伤杂志, 2009, 25(5): 363-367.
- [23] Duan M, Berra L, Kumar A, et al. Use of hypothermia to allow low-tidal-volume ventilation in a patient with ARDS[J]. *Respir Care*, 2011, 56(12): 1956-1958.
- [24] Kneyber MC, Zhang H, Slutsky AS. Ventilator-induced lung injury. Similarity and differences between children and adults[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2014, 190(3): 258-265.
- [25] Smith LS, Zimmerman JJ, Martin TR. Mechanisms of acute respiratory distress syndrome in children and adults: a review and suggestions for future research[J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2013, 14(6): 631-643.
- [26] Sud S, Sud M, Friedrich JO, et al. High-frequency ventilation versus conventional ventilation for treatment of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, (2): CD004085.
- [27] 高志伟, 刘玲, 刘松桥, 等. 高频振荡通气对急性呼吸窘迫综合征患者预后影响的荟萃分析[J]. 中华医学杂志, 2014, 94(27): 2110-2114.
- [28] 王海旭, 孙同文, 万有栋, 等. 高频振荡通气治疗急性呼吸窘迫综合征的荟萃分析和试验序贯分析[J]. 中华危重病急救医学, 2015, 27(7): 552-557.

(本文编辑: 邓芳明)