

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2306152

论著·临床研究

容量保证的高频振荡通气模式对胎龄28~34周早产儿呼吸衰竭疗效的前瞻性随机对照研究

王鲁春 包志丹 马祎喆 牛利美 陶鸣燕

(东南大学医学院附属江阴医院新生儿科, 江苏江阴 214400)

[摘要] **目的** 探讨容量保证的高频振荡通气 (volume-guaranteed high frequency oscillation ventilation, HFOV-VG) 与常规机械通气 (conventional mechanical ventilation, CMV) 治疗早产儿呼吸衰竭的疗效差异。**方法** 前瞻性纳入2018年10月—2022年12月东南大学医学院附属江阴医院新生儿科住院的112例呼吸衰竭早产儿 (胎龄28~34周) 为研究对象, 采用掷硬币法基于机械通气模式随机分为HFOV-VG组 (44例) 和CMV组 (68例), 比较两种通气模式的治疗效果。**结果** HFOV-VG组和CMV组治疗24 h后动脉血pH、氧分压、二氧化碳分压及氧分压/吸入气氧浓度均较治疗前改善 ($P<0.05$), 且HFOV-VG组改善效果优于CMV组 ($P<0.05$)。两组早产儿并发症、28 d病死率、住院时长比较差异无统计学意义 ($P>0.05$), 但HFOV-VG组有创机械通气时间短于CMV组 ($P<0.05$)。随访至纠正6月龄, 两组早产儿小儿神经心理发育量表的发育商、大运动、精细动作、适应能力、语言、社会行为得分差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** HFOV-VG模式较CMV模式能够更快提高氧分压、促进二氧化碳排出, 从而改善呼吸衰竭早产儿的氧合、缩短呼吸机使用时间, 对患儿短期神经行为发育无显著影响。

[中国当代儿科杂志, 2023, 25 (11): 1101-1106]

[关键词] 呼吸衰竭; 容量保证通气; 高频振荡通气模式; 肺损伤; 神经行为发育; 早产儿

Therapeutic efficacy of volume-guaranteed high frequency oscillation ventilation on respiratory failure in preterm infants with a gestational age of 28-34 weeks: a prospective randomized controlled study

WANG Lu-Chun, BAO Zhi-Dan, MA Yi-Zhe, NIU Li-Mei, TAO Ming-Yan. Department of Neonatology, Jiangyin Hospital Affiliated to Medical School of Southeast University, Jiangyin, Jiangsu 214400, China (Bao Z-D, Email: baodandancandy@126.com)

Abstract: Objective To investigate the therapeutic efficacy of volume-guaranteed high frequency oscillation ventilation (HFOV-VG) versus conventional mechanical ventilation (CMV) in the treatment of preterm infants with respiratory failure. **Methods** A prospective study was conducted on 112 preterm infants with respiratory failure (a gestational age of 28-34 weeks) who were admitted to the Department of Neonatology, Jiangyin Hospital Affiliated to Medical School of Southeast University, from October 2018 to December 2022. The infants were randomly divided into an HFOV-VG group (44 infants) and a CMV group (68 infants) using the coin tossing method based on the mode of mechanical ventilation. The therapeutic efficacy was compared between the two groups. **Results** After 24 hours of treatment, both the HFOV-VG and CMV groups showed significant improvements in arterial blood pH, partial pressure of oxygen, partial pressure of carbon dioxide, and partial pressure of oxygen/fractional concentration of inspired oxygen ratio ($P<0.05$), and the HFOV-VG group had better improvements than the CMV group ($P<0.05$). There were no significant differences between the two groups in the incidence rate of complications, 28-day mortality rate, and length of hospital stay ($P>0.05$), but the HFOV-VG group had a significantly shorter duration of invasive mechanical ventilation than the CMV group ($P<0.05$). The follow-up at the corrected age of 6 months showed that there were no significant differences between the two groups in the scores of developmental quotient, gross motor function, fine motor function,

[收稿日期] 2023-06-30; [接受日期] 2023-09-22

[作者简介] 王鲁春, 男, 硕士, 副主任医师。

[通信作者] 包志丹, 女, 副主任医师。Email: baodandancandy@126.com。

adaptive ability, language, and social behavior in the Pediatric Neuropsychological Development Scale ($P>0.05$).

Conclusions Compared with CMV mode, HFOV-VG mode improves partial pressure of oxygen and promotes carbon dioxide elimination, thereby enhancing oxygenation and shortening the duration of mechanical ventilation in preterm infants with respiratory failure, while it has no significant impact on short-term neurobehavioral development in these infants.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2023, 25(11): 1101-1106]

Key words: Respiratory failure; Volume-guaranteed ventilation; High frequency oscillation ventilation mode; Lung injury; Neurobehavioral development; Preterm infant

中国活产新生儿中,早产儿发生率从2012年的5.9%上升至2018年的6.4%,随着围生医学、新生儿急救医学的发展,新生儿重症监护病房(neonatal intensive care unit, NICU)中早产儿的存活率也明显增高^[1-3]。早产儿呼吸系统发育并不完善,新生儿呼吸衰竭是早产儿常见的并发症之一,也是造成早产儿死亡的主要原因,需要尽早进行呼吸支持治疗^[4]。

通气策略的选择与支气管肺发育不良(bronchopulmonary dysplasia, BPD)、新生儿脑白质损伤等并发症的发生发展有关^[5]。传统常频机械通气(conventional mechanical ventilation, CMV)是临床上用于治疗呼吸衰竭最常用的呼吸支持方式,常需要较高的压力和较大的潮气量,易发生通气过度、气胸等情况。而高频振荡通气(high frequency oscillatory ventilation, HFOV)既往主要作为严重呼吸衰竭新生儿的治療手段,具有低气道压力、低潮气量、超生理通气频率等特点^[6]。但HFOV模式仍可能因潮气量过大造成气道和肺泡过度扩张等问题,导致过度通气和肺容积损伤,从而增加BPD、高氧脑损伤、气胸的发生风险^[6]。容量保证通气是目标容量控制通气模式中最常用的模式,可以维持通气过程中潮气量相对稳定,并且可使目标潮气量不受肺顺应性、呼吸道阻力和自主呼吸等影响,有助于降低BPD的发生风险^[7]。容量保证的高频振荡通气(volume-guaranteed high frequency oscillation ventilation, HFOV-VG)是一种新的有创呼吸支持模式,这种联合模式在早产儿中的临床应用越来越受重视^[8-9],目前动物实验已经证实HFOV-VG在肺通气改善、减少肺损伤方面具有一定优势,但HFOV-VG在新生儿中的临床应用研究仍较少,在早产儿呼吸衰竭治疗中是否能够预防肺损伤仍不清楚^[10]。2023年一项荟萃分析显示容量保证通气模式能够降低早产儿严重脑室出血的发生风险^[11],既往也有研究提示HFOV模式下治疗的早产儿在18月龄时发生脑性瘫痪和精神发育落后的风险显著降低^[12],提示通气模式可能影响早产儿神经行

为发育,但鲜见研究报道HFOV-VG模式对早产儿神经行为发育的影响。本研究旨在比较HFOV-VG模式及CMV模式治疗早产儿呼吸衰竭的疗效及对神经系统预后的影响,以探索更适合应用于早产儿呼吸衰竭的通气模式。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为前瞻性研究,研究对象为2018年10月—2022年12月在东南大学医学院附属江阴医院NICU住院的、需要有创机械通气的早产儿。纳入标准:(1)胎龄28~34周;(2)入院72 h内需要有创机械通气;(3)符合新生儿呼吸衰竭的诊断标准,诊断依据参照新生儿呼吸衰竭指南^[13]。根据掷硬币法随机分配机械通气模式,即HFOV-VG模式和CMV模式。排除标准:(1)先天畸形或发育异常,如胸廓发育畸形、膈疝、食管裂孔疝、先天性肺发育异常、复杂型先天性心脏病、染色体疾病等;(2)合并其他脏器出血,如肺出血、消化道出血、肺动脉高压或弥散性血管内凝血等严重并发症;(3)临床资料不全者。本研究已通过我院医学伦理委员会审批([2017]伦审研第(008)号),患儿家属知情并签署同意书。

1.2 一般资料收集

记录两组患儿的性别、胎龄、出生体重、新生儿期原发病及并发症(BPD、颅内出血、肺部感染等)情况、最终临床转归(存活或死亡)、NICU住院治疗相关情况(应用肺表面活性物质、住院时长等)、呼吸支持时间(有创机械通气时间、总用氧时间等)等临床资料。

1.3 机械通气参数设定

HFOV-VG通气参数设定:潮气量为 (1.8 ± 0.2) mL/kg,呼吸机频率为10~15 Hz,平均气道压(mean airway pressure, MAP)为6~8 cmH₂O或比常频通气时高2~3 cmH₂O。振幅(ΔP)为15~20 cmH₂O,可为MAP的2倍,或者观察胸壁充分振动能延续到患儿骨盆处来指导 ΔP 调整。调节吸

入气氧浓度 (fraction of inspiration oxygen, FiO_2) 至目标经皮动脉血氧饱和度 (percutaneous arterial oxygen saturation, SpO_2) 为 90%~95%, 吸气、呼气时间比为 1 : 2。上机后 MAP 每 2~3 min 增加 1~2 cmH_2O , 随着 SpO_2 的上升下调 FiO_2 , 使 SpO_2 保持在目标范围内。当 FiO_2 不超过 25%, 或者氧合不再改善, 或者有肺过度膨胀的迹象 (毛细血管再充盈时间 > 3 s 和/或低血压) 则停止增加 MAP, 该 MAP 数值为肺泡持续开放压。然后 MAP 每 2~3 min 减小 1~2 cmH_2O , 直至 SpO_2 数值开始下降, 此时 MAP 数值为闭合压。再次将 MAP 上调至开放压 2~3 min 复张肺后, 将 MAP 下调至比闭合压高 2 cmH_2O , 半小时后复查血气, 根据血气结果按 0.1~0.2 mL/kg 调整潮气量, 最后设定最大振幅 $\Delta P_{\text{max}} = \Delta P + 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ [14]。CMV 组通气参数设定: 潮气量为 4~6 mL/kg, 呼吸频率为 40~60 次/min, 吸气时间为 0.3~0.4 s, 调节 FiO_2 保证患儿目标 SpO_2 (90%~95%), 呼气末正压为 5~7 cmH_2O , 吸气峰压为 15~20 cmH_2O 。根据患儿临床情况和血气分析结果, 并按照指南 [6, 15] 调整呼吸机参数。

检测并记录机械通气前和机械通气 24 h 后动脉血 pH、氧分压 (partial pressure of oxygen, PaO_2)、二氧化碳分压 (partial pressure of carbon dioxide, PaCO_2) 和 FiO_2 。

1.4 发育商评估

小儿神经心理发育量表 (以下简称“儿心量表”) 为我国自主研发的发育评估量表, 用于评估 0~6 岁儿童发育情况, 分为大运动、精细动作、适应能力、语言、社会交往 5 大能区, 结果以发育商评价 [16]。两组早产儿纠正 6 月龄时使用儿心量表评估神经行为发育情况, 测试人员均为取得相应资质的固定专业人员。

1.5 统计学分析

采用 SPSS 19.0 统计软件进行数据分析。正态分布的计量资料以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 两组间比较采用两样本 t 检验或配对 t 检验; 计数资料以例数和百分率 (%) 表示, 率的比较采用卡方检验或 Fisher 确切概率法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组早产儿基本资料比较

共纳入 112 例诊断为新生儿呼吸衰竭且需要有创机械通气的早产儿, 胎龄 28~34 周, 男性 61 例 (54.5%), 女性 51 例 (45.5%)。HFOV-VG 组 44 例, CMV 组 68 例, 两组早产儿性别、胎龄、出生体重、分娩方式、母亲产前使用糖皮质激素、1 min Apgar 评分、新生儿原发病方面比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 见表 1。

表 1 两组早产儿基本资料比较

组别	例数	性别 (男/女, 例)	胎龄 ($\bar{x} \pm s$, 周)	出生体重 ($\bar{x} \pm s$, g)	分娩方式 (剖宫产/ 顺产, 例)	母亲产前 使用糖皮质 激素 (是/否, 例)	1 min Apgar 评分 ($\bar{x} \pm s$, 分)	原发病 [例(%)]			
								新生儿 呼吸窘迫 综合征	胎粪 吸入	窒息	新生儿 肺炎
CMV 组	68	35/33	30.6 $\pm$ 2.0	1 309 $\pm$ 180	38/30	46/22	7.4 $\pm$ 2.7	41(60)	2(3)	7(10)	18(26)
HFOV-VG 组	44	26/18	30.4 $\pm$ 2.1	1 352 $\pm$ 159	24/20	27/17	7.3 $\pm$ 2.3	26(59)	3(7)	8(18)	7(16)
χ^2 值		0.625	0.527	-1.299	0.019	0.464	0.194		3.482		
P 值		0.429	0.599	0.197	0.889	0.495	0.846		0.323		

注: [CMV] 常频机械通气; [HFOV-VG] 容量保证的高频振荡通气。

2.2 两组早产儿机械通气前后氧合指标比较

HFOV-VG 组和 CMV 组早产儿机械通气治疗前动脉血 pH、 PaO_2 、 PaCO_2 、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组早产儿机械通气治疗

24 h 后动脉血 pH、 PaO_2 、 PaCO_2 及 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 均较治疗前改善 ($P < 0.05$), 且 HFOV-VG 组动脉血 pH、 PaO_2 、 $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ 高于 CMV 组, PaCO_2 低于 CMV 组 ($P < 0.05$)。见表 2。

表 2 两组早产儿机械通气前后氧合指标比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	pH		PaO ₂ (mmHg)		PaCO ₂ (mmHg)		PaO ₂ /FiO ₂ (mmHg)	
		治疗前	治疗 24 h 后	治疗前	治疗 24 h 后	治疗前	治疗 24 h 后	治疗前	治疗 24 h 后
CMV 组	68	7.24 ± 0.12	7.34 ± 0.06 ^a	56 ± 16	74 ± 9 ^a	58 ± 10	48 ± 6 ^a	101 ± 46	181 ± 63 ^a
HFOV-VG 组	44	7.25 ± 0.09	7.44 ± 0.07 ^a	59 ± 15	95 ± 16 ^a	56 ± 14	37 ± 6 ^a	114 ± 44	292 ± 88 ^a
<i>t</i> 值		-0.543	-8.456	-0.871	-8.470	0.959	9.292	-1.577	-7.770
<i>P</i> 值		0.588	<0.001	0.386	<0.001	0.340	<0.001	0.118	<0.001

注: [PaO₂] 氧分压; [PaCO₂] 二氧化碳分压; [FiO₂] 吸入气氧浓度; [CMV] 常频机械通气; [HFOV-VG] 容量保证的高频振荡通气。a 示与同组治疗前比较, *P* < 0.05。

2.3 两组早产儿并发症和转归情况比较

HFOV-VG 组和 CMV 组早产儿 BPD、脑室内出血、脑室周围白质软化、新生儿坏死性小肠结肠炎 (≥ II 期)、肺出血、气胸、晚发型败血症、有血

流动力学改变的动脉导管未闭、早产儿视网膜病的发生率及 28 d 病死率比较差异无统计学意义 (*P* > 0.05), 见表 3。

表 3 两组早产儿并发症和转归情况比较 [例 (%)]

组别	例数	BPD	脑室内出血	脑室周围白质软化	NEC (≥ II 期)	肺出血	气胸	晚发型败血症	hsPDA	ROP	28 d 内死亡
CMV 组	68	35(51)	31(46)	1(1)	4(6)	2(3)	5(7)	10(15)	15(22)	9(13)	4(6)
HFOV-VG 组	44	21(48)	26(59)	2(5)	3(7)	1(2)	2(5)	8(18)	11(25)	5(11)	3(7)
χ^2 值		0.150	1.945	—	—	—	—	0.239	0.130	0.086	—
<i>P</i> 值		0.699	0.163	0.560	0.999	0.999	0.702	0.625	0.719	0.770	0.999

注: [CMV] 常频机械通气; [HFOV-VG] 容量保证的高频振荡通气; [BPD] 支气管肺发育不良; [NEC] 新生儿坏死性小肠结肠炎; [hsPDA] 有血流动力学改变的动脉导管未闭; [ROP] 早产儿视网膜病。

2.4 两组早产儿治疗情况比较

HFOV-VG 组和 CMV 组早产儿应用肺表面活性物质比例、总用氧时间、住院时长比较差异无统

计学意义 (*P* > 0.05), 但 HFOV-VG 组有创机械通气时间短于 CMV 组 (*P* < 0.05), 见表 4。

表 4 两组患儿治疗情况比较

组别	例数	应用肺表面活性物质 [例(%)]	有创机械通气时间 ($\bar{x} \pm s$, h)	总用氧时间 ($\bar{x} \pm s$, d)	住院时长 ($\bar{x} \pm s$, d)
CMV 组	68	49(72)	72 ± 31	23 ± 7	44 ± 14
HFOV-VG 组	44	30(68)	61 ± 26	23 ± 7	40 ± 13
<i>t</i> / χ^2 值		0.193	1.945	-0.440	1.542
<i>P</i> 值		0.660	0.163	0.661	0.126

注: [CMV] 常频机械通气; [HFOV-VG] 容量保证的高频振荡通气。

2.5 两组早产儿短期神经行为发育比较

随访至纠正 6 月龄, 两组早产儿儿心量表的发育商、大运动、精细动作、适应能力、语言、社

会行为得分差异无统计学意义 (*P* > 0.05), 见表 5。

表 5 两组早产儿纠正 6 月龄发育商比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	发育商	大运动	精细动作	适应能力	语言	社会行为评分
CMV 组	68	79 ± 8	86 ± 10	81 ± 7	77 ± 9	78 ± 10	76 ± 8
HFOV-VG 组	44	79 ± 7	87 ± 8	81 ± 8	79 ± 11	79 ± 10	77 ± 7
<i>t</i> 值		-0.140	-0.812	-0.297	-0.318	-0.279	-0.302
<i>P</i> 值		0.889	0.418	0.767	0.751	0.781	0.763

注: [CMV] 常频机械通气; [HFOV-VG] 容量保证的高频振荡通气。

3 讨论

本研究纳入胎龄28~34周的中早期早产儿,发现HFOV-VG组治疗24h后动脉血pH、PaO₂、PaCO₂、PaO₂/FiO₂的改善较CMV组明显,提示HFOV-VG通气方式能够更快、更有效地提高PaO₂,促进CO₂排出,改善氧合。这种优势可能得益于HFOV-VG模式下潮气量比较稳定,避免肺泡过度扩张,还可通过高频振动,促使气道有害物质排出,增加肺顺应性,改善肺组织通气及换气功能。Belteki等^[17]详细分析了HFOV-VG模式下呼吸参数的变化,该模式可以将高频潮气量控制在既定范围内,其优势在使用肺表面活性物质、镇静治疗时更明显,可避免过度通气和低碳酸血症的发生。Iscan等^[18]将20例胎龄<32周的呼吸窘迫综合征患儿分为HFOV-VG组和HFOV组,发现HFOV-VG可以减少高频潮气量的波动,也减少超出目标PaCO₂值的情况,降低高碳酸血症或低碳酸血症的发生率。HFOV-VG还可以在降低高频潮气量和增加呼吸频率的同时保持PaCO₂,以减少肺损伤^[19]。王湘等^[10]也提出HFOV-VG可以用较低的通气压力达到需要的目标潮气量,从而有效降低肺顺应性和呼吸道阻力的影响,以达到减轻肺损伤的目的。

本研究结果表明,HFOV-VG组和CMV组早产儿在发生BPD、脑室内出血、感染、神经损伤等新生儿期并发症,以及28d病死率、住院时长上比较差异无统计学意义,但HFOV-VG组有创机械通气时间短于CMV组,提示与CMV模式相比,HFOV-VG模式在降低早产儿病死率、减少早产儿相关并发症方面无明显优势,但患儿的急性肺损伤可能更快得到缓解,有效减少呼吸机的使用时间。在新生儿呼吸窘迫综合征动物模型中,研究者也证明HFOV-VG模式能够有效减轻肺泡炎性渗出、减轻肺损伤^[20]。袁文浩等^[21]也报道HFOV-VG较CMV通气模式更快改善持续性肺动脉高压患儿氧合状况,减少呼吸机使用时间,缩短患儿住院时间,降低医疗成本,但不影响28d病死率。值得注意的是,本研究提示HFOV-VG模式在减少BPD发生率上并无优势,可能和本研究纳入的早产儿胎龄有关,并未纳入胎龄<28周的超早产儿,而BPD的发生和超早产关系密切。

既往研究表明,低碳酸血症会导致脑血管收缩和血流量减少,主要与神经系统并发症有关,包括脑性瘫痪、认知障碍、脑室内出血、脑室周

围白质损伤等;而高碳酸血症通过扩张脑动脉促进脑血流量增加,与神经、呼吸和消化系统不良预后及早产儿视网膜病变有关^[22-23]。基于这些研究结果,理论上HFOV-VG模式可能通过减少机械通气对脑血流变化的影响,从而有助于改善神经系统预后。本研究发现HFOV-VG模式和CMV模式相比,对中早期早产儿神经系统并发症的发生无显著差异,两种通气模式下的早产儿在纠正6月龄时的神经行为发育无明显差异,和袁文浩等^[21]观察到的结果一致。本研究主要探讨了HFOV-VG模式对早产儿短期神经系统发育的影响,仍需延长随访时间、扩大样本量以进一步探索这种通气模式对早产儿远期神经发育的影响。另外,本研究局限之处在于未进一步检测治疗前后肺损伤相关的炎症指标及探索这种通气模式快速改善氧合的相关机制。

综上所述,HFOV-VG模式应用于早产儿呼吸衰竭,在改善氧合、缩短呼吸机使用时间等方面效果优于CMV模式,且不增加患儿的并发症发生风险及短期神经发育不良预后,安全性相对较高,在早产儿呼吸衰竭的治疗中有重要推广意义。

利益冲突声明:所有作者声明无利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Deng K, Liang J, Mu Y, et al. Preterm births in China between 2012 and 2018: an observational study of more than 9 million women[J]. *Lancet Glob Health*, 2021, 9(9): e1226-e1241. PMID: 34416213. PMCID: PMC8386289. DOI: 10.1016/S2214-109X(21)00298-9.
- [2] Cao Y, Jiang S, Sun J, et al. Assessment of neonatal intensive care unit practices, morbidity, and mortality among very preterm infants in China[J]. *JAMA Netw Open*, 2021, 4(8): e2118904. PMID: 34338792. PMCID: PMC8329742. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2021.18904.
- [3] Chawanpaiboon S, Vogel JP, Moller AB, et al. Global, regional, and national estimates of levels of preterm birth in 2014: a systematic review and modelling analysis[J]. *Lancet Glob Health*, 2019, 7(1): e37-e46. PMID: 30389451. PMCID: PMC6293055. DOI: 10.1016/S2214-109X(18)30451-0.
- [4] Zhang L, Qiu Y, Yi B, et al. Mortality of neonatal respiratory failure from Chinese northwest NICU network[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2017, 30(17): 2105-2111. PMID: 27651118. DOI: 10.1080/14767058.2016.1238894.
- [5] 范颖, 贺雨, 史源. 早产儿应用有创容量保证的高频振荡通气研究进展[J]. *中华儿科杂志*, 2020, 58(10): 850-853. PMID: 32987469. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20200418-00401.

- [6] 中国医师协会新生儿科医师分会循证专业委员会. 容量目标通气模式在新生儿呼吸支持中的应用指南[J]. 中国循证医学杂志, 2022, 22(2): 125-133.
DOI: 10.7507/1672-2531.202110060.
- [7] Klingenberg C, Wheeler KI, McCallion N, et al. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in neonates[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2017, 10(10): CD003666. PMID: 29039883. PMCID: PMC6485452.
DOI: 10.1002/14651858.CD003666.pub4.
- [8] Singh Y, Lakshminrusimha S. Pathophysiology and management of persistent pulmonary hypertension of the newborn[J]. Clin Perinatol, 2021, 48(3): 595-618. PMID: 34353582. PMCID: PMC8351908. DOI: 10.1016/j.clp.2021.05.009.
- [9] Sánchez-Luna M, González-Pacheco N, Belik J, et al. New ventilator strategies: high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee[J]. Am J Perinatol, 2018, 35(6): 545-548. PMID: 29694993. DOI: 10.1055/s-0038-1637763.
- [10] 王湘, 史源. 容量保证的高频振荡通气模式在新生儿疾病中的应用研究[J]. 检验医学与临床, 2023, 20(7): 973-977.
DOI: 10.3969/j.issn.1672-9455.2023.07.025.
- [11] Razak A, Patel W, Durrani NUR, et al. Interventions to reduce severe brain injury risk in preterm neonates: a systematic review and meta-analysis[J]. JAMA Netw Open, 2023, 6(4): e237473. PMID: 37052920. PMCID: PMC10102877.
DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.7473.
- [12] Sun H, Cheng R, Kang W, et al. High-frequency oscillatory ventilation versus synchronized intermittent mandatory ventilation plus pressure support in preterm infants with severe respiratory distress syndrome[J]. Respir Care, 2014, 59(2): 159-169. PMID: 23764865. DOI: 10.4187/respcare.02382.
- [13] 傅益永, 悦光, 巨容, 等. 体外生命支持组织: 新生儿呼吸衰竭指南[J]. 发育医学电子杂志, 2021, 9(3): 161-168.
DOI: 10.3969/j.issn.2095-5340.2021.03.001.
- [14] Tuzun F, Deliloglu B, Cengiz MM, et al. Volume guarantee high-frequency oscillatory ventilation in preterm infants with RDS: tidal volume and DCO₂ levels for optimal ventilation using open-lung strategies[J]. Front Pediatr, 2020, 8: 105. PMID: 32266185. PMCID: PMC7105735. DOI: 10.3389/fped.2020.00105.
- [15] 《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. PMID: 26080660.
DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2015.05.003.
- [16] 罗美芳, 肖博, 赵晓丽, 等. 儿童神经心理行为检查量表2016版在孤独症谱系障碍幼儿中的临床应用[J]. 中国当代儿科杂志, 2020, 22(5): 494-498. PMID: 32434647. PMCID: PMC7389401.
DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2001035.
- [17] Belteki G, Morley CJ. High-frequency oscillatory ventilation with volume guarantee: a single-centre experience[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2019, 104(4): F384-F389. PMID: 30217870. DOI: 10.1136/archdischild-2018-315490.
- [18] Iscan B, Duman N, Tuzun F, et al. Impact of volume guarantee on high-frequency oscillatory ventilation in preterm infants: a randomized crossover clinical trial[J]. Neonatology, 2015, 108(4): 277-282. PMID: 26330156. DOI: 10.1159/000437204.
- [19] González-Pacheco N, Sánchez-Luna M, Ramos-Navarro C, et al. Using very high frequencies with very low lung volumes during high-frequency oscillatory ventilation to protect the immature lung. A pilot study[J]. J Perinatol, 2016, 36(4): 306-310. PMID: 26741575. DOI: 10.1038/jp.2015.197.
- [20] González-Pacheco N, Sánchez-Luna M, Chimenti-Camacho P, et al. Use of very low tidal volumes during high-frequency ventilation reduces ventilator lung injury[J]. J Perinatol, 2019, 39(5): 730-736. PMID: 30770883.
DOI: 10.1038/s41372-019-0338-5.
- [21] 袁文浩, 曾凌空, 陶旭炜, 等. 高频振荡通气联合容量保证通气治疗新生儿持续性肺动脉高压的临床疗效[J]. 中华妇幼临床医学杂志(电子版), 2020, 16(6): 656-664.
DOI: 10.3877/cma.j.issn.1673-5250.2020.06.006.
- [22] Wong SK, Chim M, Allen J, et al. Carbon dioxide levels in neonates: what are safe parameters?[J]. Pediatr Res, 2022, 91(5): 1049-1056. PMID: 34230621. PMCID: PMC9122818.
DOI: 10.1038/s41390-021-01473-y.
- [23] Brown MK, Poeltler DM, Hassen KO, et al. Incidence of hypocapnia, hypercapnia, and acidosis and the associated risk of adverse events in preterm neonates[J]. Respir Care, 2018, 63(8): 943-949. PMID: 29615483. DOI: 10.4187/respcare.05801.

(本文编辑: 王颖)

(版权所有©2023 中国当代儿科杂志)