

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2209121

论著·临床研究

无创高频振荡通气与经鼻间歇正压通气作为早产儿拔管后呼吸支持疗效比较的 Meta 分析

师红可 梁克令 安丽花 张冰 张成云

(郑州市第一人民医院新生儿科, 河南郑州 450000)

[摘要] **目的** 系统评估无创高频振荡通气 (non-invasive high-frequency oscillatory ventilation, NHFOV) 与经鼻间歇正压通气 (nasal intermittent positive pressure ventilation, NIPPV) 作为早产儿拔管后呼吸支持的有效性及安全性。**方法** 全面检索中国知网、万方数据库、中国期刊全文数据库、中国生物医学文献数据库、PubMed、Web of Science、Cochrane Library 等数据库中关于 NHFOV 与 NIPPV 作为早产儿拔管后呼吸支持的文献, 检索时间从建库至 2022 年 8 月 31 日。采用 RevMan 5.4 软件及 Stata 17.0 软件进行 Meta 分析, 比较 NHFOV 组和 NIPPV 组拔管后 72 h 内再插管率、改无创辅助通气后 6~24 h 的二氧化碳分压 (partial pressure of carbon dioxide, PCO_2) 及支气管肺发育不良 (bronchopulmonary dysplasia, BPD)、气漏、鼻损伤、脑室周围白质软化 (periventricular leukomalacia, PVL)、脑室内出血 (intraventricular hemorrhage, IVH) 及早产儿视网膜病变 (retinopathy of prematurity, ROP) 等发生率的差异。**结果** 共纳入 9 篇随机对照试验。Meta 分析结果显示: NHFOV 组拔管后 72 h 内再插管率低于 NIPPV 组 ($RR=0.67$, $95\%CI: 0.52\sim 0.88$, $P=0.003$); 改无创辅助通气后 6~24 h NHFOV 组的 PCO_2 低于 NIPPV 组 ($MD=-4.12$, $95\%CI: -6.12\sim -2.13$, $P<0.001$)。两组 BPD、气漏、鼻损伤、PVL、IVH 及 ROP 等并发症发生率的比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。**结论** 与 NIPPV 相比, NHFOV 可有效清除二氧化碳, 减少再插管风险, 且不增加 BPD、气漏、鼻损伤、PVL 及 IVH 等并发症的发生, 可作为早产儿拔管后序贯式呼吸支持模式。 [中国当代儿科杂志, 2023, 25 (3): 295-301]

[关键词] 无创高频振荡通气; 经鼻间歇正压通气; Meta 分析; 早产儿

Efficacy of noninvasive high-frequency oscillatory ventilation versus nasal intermittent positive pressure ventilation as post-extubation respiratory support in preterm infants: a Meta analysis

SHI Hong-Ke, LIANG Ke-Ling, AN Li-Hua, ZHANG Bing, ZHANG Cheng-Yun. Department of Neonatology, First People's Hospital of Zhengzhou, Zhengzhou 450000, China (Zhang C-Y, Email: zhangchengyun3@163.com)

Abstract: Objective To systematically evaluate the efficacy and safety of noninvasive high-frequency oscillatory ventilation (NHFOV) versus nasal intermittent positive pressure ventilation (NIPPV) as post-extubation respiratory support in preterm infants. **Methods** China National Knowledge Infrastructure, Wanfang Data, Chinese Journal Full-text Database, China Biology Medicine disc, PubMed, Web of Science, and the Cochrane Library were searched for articles on NHFOV and NIPPV as post-extubation respiratory support in preterm infants published up to August 31, 2022. RevMan 5.4 software and Stata 17.0 software were used for a Meta analysis to compare related indices between the NHFOV and NIPPV groups, including reintubation rate within 72 hours after extubation, partial pressure of carbon dioxide (PCO_2) at 6-24 hours after switch to noninvasive assisted ventilation, and the incidence rates of bronchopulmonary dysplasia (BPD), air leak, nasal damage, periventricular leukomalacia (PVL), intraventricular hemorrhage (IVH), and retinopathy of prematurity (ROP). **Results** A total of 9 randomized controlled trials were included. The Meta analysis showed that compared with the NIPPV group, the NHFOV group had significantly lower

[收稿日期] 2022-09-26; [接受日期] 2023-02-01

[作者简介] 师红可, 女, 硕士, 住院医师。

[通信作者] 张成云, 男, 主任医师。Email: zhangchengyun3@163.com。

reintubation rate within 72 hours after extubation ($RR=0.67$, $95\%CI$: $0.52-0.88$, $P=0.003$) and PCO_2 at 6-24 hours after switch to noninvasive assisted ventilation ($MD=-4.12$, $95\%CI$: -6.12 to -2.13 , $P<0.001$). There was no significant difference between the two groups in the incidence rates of complications such as BPD, air leak, nasal damage, PVL, IVH, and ROP ($P>0.05$). **Conclusions** Compared with NIPPV, NHFOV can effectively remove CO_2 and reduce the risk of reintubation, without increasing the incidence of complications such as BPD, air leak, nasal damage, PVL, and IVH, and therefore, it can be used as a sequential respiratory support mode for preterm infants after extubation.

[Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2023, 25(3): 295-301]

Key words: Noninvasive high-frequency oscillatory ventilation; Nasal intermittent positive pressure ventilation; Meta analysis; Preterm infant

无创通气是新生儿重症监护室 (neonatal intensive care unit, NICU) 重要的呼吸支持技术, 其临床应用避免和减少了气管插管及有创呼吸机的使用, 减少了相关并发症, 提高患儿生存质量。经鼻间歇正压通气 (nasal intermittent positive pressure ventilation, NIPPV) 是在经鼻持续气道正压通气 (nasal continuous positive airway pressure, nCPAP) 的基础上给予间歇正压的一种无创呼吸支持模式, 具有避免气管插管及显著降低机械通气并发症的优点^[1-3], 已成为早产儿重要的辅助通气方式。然而近年来, 无创高频振荡通气 (noninvasive high-frequency oscillatory ventilation, NHFOV) 作为一种新型有效的无创通气模式被逐渐推广应用于临床, 其结合了 nCPAP 和 高频通气 (high-frequency ventilation, HFV) 的优点, 能够快速改善氧合, 有效清除二氧化碳^[4], 从而改善呼吸衰竭。有研究表明与 nCPAP 相比, NHFOV 在清除二氧化碳方面更具优势^[5], 同时在早产儿拔管后应用, 能够有效降低再次气管插管的风险^[6-8]。此外, 高频通气模式还可以有效减少肺实质受到的压力伤和容量伤, 减少支气管肺发育不良 (bronchopulmonary dysplasia, BPD) 等疾病的发生^[9]。目前国内外关于 NHFOV 与 NIPPV 作为早产儿拔管后呼吸支持疗效比较的文献尚少, 且缺乏大规模的随机对照试验 (randomized controlled trial, RCT) 报道。本研究旨在进行 NHFOV 与 NIPPV 作为早产儿拔管后呼吸支持疗效比较的 Meta 分析, 为早产儿拔管后无创通气模式的选择提供循证学依据。

1 资料与方法

1.1 检索策略

计算机全面检索中国知网、万方数据库、中国期刊全文数据库、中国生物医学文献数据库、PubMed、Web of Science、Cochrane Library 等数据

库自建库至 2022 年 8 月 31 日关于 NHFOV 与 NIPPV 作为早产儿拔管后呼吸支持的文献。采用主题词与自由词相结合的方式, 以“无创高频振荡通气”“经鼻间歇正压通气”“早产儿”“未成熟儿”“低出生体重儿”“极低出生体重儿”“超低出生体重儿”为中文检索词, 以“infants”“preterm”“prematurity”“premature”“preterm”“neonatal”“infant”“infants”“premature infant”“premature infants”“preterm infant”“preterm infants”“neonatal prematurity”“neonatal prematurity infants”“noninvasive high-frequency oscillatory ventilation”“NHFOV”“nasal intermittent positive pressure ventilation”“NIPPV”为英文检索词, 并辅以文献追溯及手工检索等进行检索。

1.2 文献纳入与排除标准

(1) 纳入标准: ①研究对象: 拔管后改无创呼吸机辅助通气的早产儿; ②干预措施: 试验组为 NHFOV, 对照组为 NIPPV; ③结局指标: 拔管后 72 h 内再插管率、改无创辅助通气后 6~24 h 二氧化碳分压 (partial pressure of carbon dioxide, PCO_2) 及 BPD、气漏、鼻损伤、脑室周围白质软化 (periventricular leukomalacia, PVL)、脑室内出血 (intraventricular hemorrhage, IVH) 及早产儿视网膜病变 (retinopathy of prematurity, ROP) 的发生情况; ④研究类型: RCT。

(2) 排除标准: ①数据或全文无法获取的文献; ②动物及离体细胞实验; ③重复发表文献。

1.3 文献的筛选与质量评价

2 名研究人员独立筛选文献, 根据纳入、排除标准对检索的文献进行筛选、交叉核对。若出现争议, 进行讨论并由第 3 名研究人员协助裁决。文献资料的提取包括: 文献的基本信息 (作者、发表年份及杂志)、样本量、样本基本情况、干预措施、结局、研究类型等。质量评价采用 Cochrane 偏倚风险评估工具^[10], 其包括随机序列的产生、分配隐藏、研究者与受试者施盲、研究结局盲法

评价、结局数据的完整性及选择性报告研究结果等方面。

1.4 统计学分析

采用 RevMan 5.4 软件及 Stata 17.0 软件进行数据处理及统计分析。采用 Excel 2010 软件建立数据库。对纳入文献进行异质性检验，以 I^2 统计量判断各研究间异质性的程度。当 $I^2 \leq 50\%$ ， $P \geq 0.10$ 时，采用固定效应模型进行 Meta 分析，反之则采用随机效应模型。计数资料以相对危险度 (relative risk, RR) 为分析统计量，计量资料以均数差 (mean difference, MD) 作为效应量。采用 Egger 检验评估发表偏倚。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 文献筛选结果、质量评价及基本特征

共检索到 270 篇文献，其中中文文献 162 篇，英文文献 108 篇。阅读文献摘要及全文，并按照纳入、排除标准筛选后，最终纳入文献 9 篇^[11-19]，文献纳入流程图见图 1。9 项研究均为 RCT。纳入研究对象共 1 770 例，其中 NHFOV 组 882 例，NIPPV

组 888 例。纳入文献的基本情况见表 1。纳入文献的质量评价结果见图 2。纳入的 7 项研究^[11-12, 14-16, 18-19]描述了随机化分配的方法，其中 4 项研究^[14, 16, 18-19]实现了分配隐藏；2 项研究^[16, 19]进行了盲法评价；9 项研究^[11-19]的研究结局数据完整且不存在选择性报告研究结果；2 项研究^[13-14]因疾病种类的不同可能存在高风险偏倚。

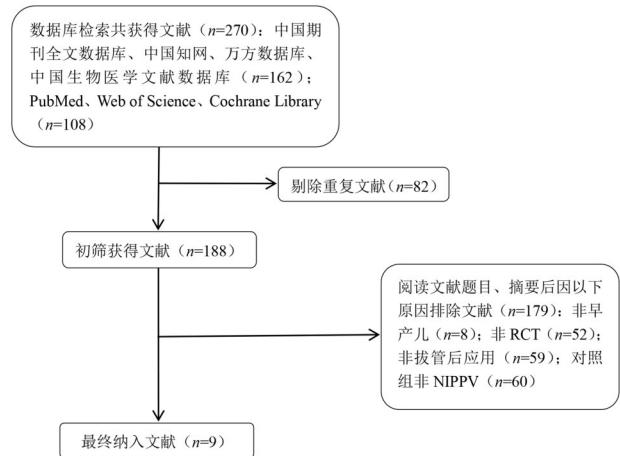


图 1 文献纳入流程图

表 1 纳入文献的基本情况

文献	病例数 (例)		胎龄 ($\bar{x} \pm s$, 周)		结局指标 [#]	研究类型
	NIPPV 组	NHFOV 组	NIPPV 组	NHFOV 组		
贾耀丽 2021 ^[11]	50	50	31.8 ± 1.5	31.9 ± 1.4	①②③④⑤⑥	RCT
王柱 2019 ^[12]	53	50	29.6 ± 1.4	29.7 ± 1.2	①②③④⑤⑥⑦⑧	RCT
张瑞彪 2022 ^[13]	22	19	34.2 ± 2.0	35.0 ± 1.8	①②④⑦	RCT
庄严 2021 ^[14]	45	45	28.4 ± 2.2	28.6 ± 2.0	①②	RCT
黄晓展 2021 ^[15]	65	65	32.9 ± 1.7	33.0 ± 1.7	③⑥⑦⑧	RCT
Seth 2021 ^[16]	43	43	31(29, 35)*	32(28, 35)*	①②④⑦	RCT
Yuan 2022 ^[17]	80	80	30.4 ± 1.6	30.6 ± 1.7	①③④⑤⑦⑧	RCT
Li 2021 ^[18]	50	50	28.9 ± 2.0	29.0 ± 1.9	②③⑤⑦⑧	RCT
Zhu 2022 ^[19]	480	480	a	b	①③④⑤	RCT

注：[#]结局指标中，①为拔管后 72 h 内再插管率，②为改无创辅助通气后 6~24 h 二氧化碳分压，③为支气管肺发育不良发生率，④为气漏发生率，⑤为鼻损伤发生率，⑥为脑室周围白质软化发生率，⑦为脑室内出血发生率，⑧为早产儿视网膜病变发生率。*中位数 (四分位数间距)。a 示 NIPPV 组胎龄 25~27⁺周者占 15.6%，28~29⁺周者占 37.9%，30~32⁺周者占 46.5%；b 示 NHFOV 组胎龄 25~27⁺周者占 16.7%，28~29⁺周者占 31.7%，30~32⁺周者占 51.6%。[RCT] 随机对照试验。

2.2 Meta 分析结果

2.2.1 拔管后 72 h 内再插管率 纳入文献中有 7 项研究^[11-14, 16-17, 19]对早产儿拔管后 72 h 内再插管率进行了报道。因各研究间无明显异质性 ($I^2 =$

0%， $P = 0.761$)，采用固定效应模型进行分析。结果显示，NHFOV 组的再插管率低于 NIPPV 组，差异具有统计学意义 ($RR = 0.67$ ，95% CI : 0.52~0.88， $P = 0.003$)，见图 3。

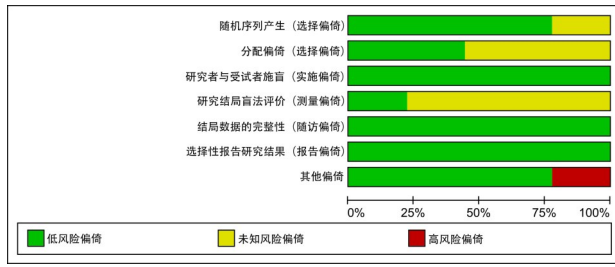


图 2 纳入文献偏倚风险评价图

2.2.2 改无创辅助通气后 6~24 h PCO₂ 水平 6 项研究^[11-14, 16, 18]报道了改无创辅助通气后 6~24 h 内两组患儿 PCO₂ 水平。异质性检验提示研究间异质性较高 ($I^2=82%$, $P<0.001$), 进一步分析异质性的来源, 考虑可能与各研究复查血气分析的时间及疾病种类不同有关, 故采用随机效应模型分析。结果显示, NHFOV 组的 PCO₂ 低于 NIPPV 组, 差异具有统计学意义 ($MD=-4.12$, $95%CI: -6.12\sim-2.13$, $P<0.001$), 见图 4。

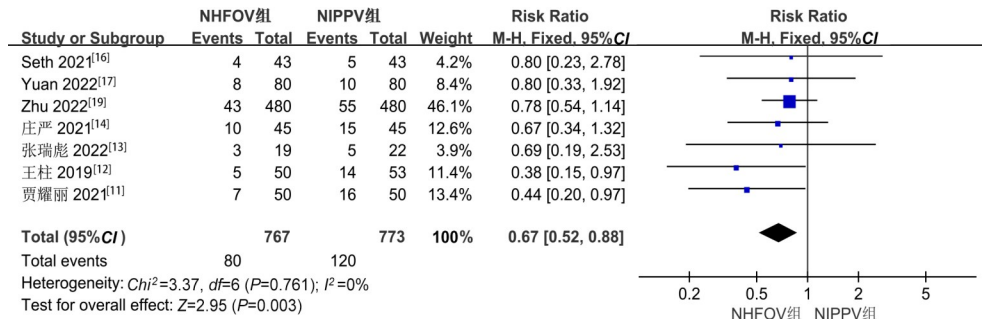


图 3 两组拔管后 72 h 内再插管率的森林图

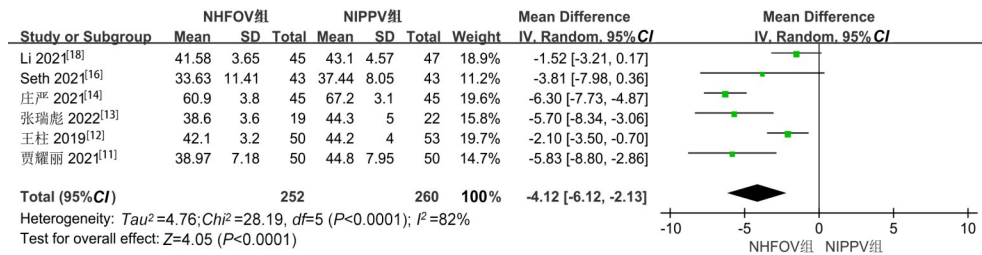


图 4 改无创辅助通气后 6~24 h 两组 PCO₂ 的森林图

2.2.3 BPD 发生率 6 项研究^[11-12, 15, 17-19]对 BPD 的发生率进行了报道。各研究间无明显异质性 ($I^2=0%$, $P=0.943$), 采用固定效应模型分析。结果显

示, NHFOV 组与 NIPPV 组 BPD 发生率的比较差异无统计学意义 ($RR=0.87$, $95%CI: 0.75\sim1.02$, $P=0.086$), 见图 5。

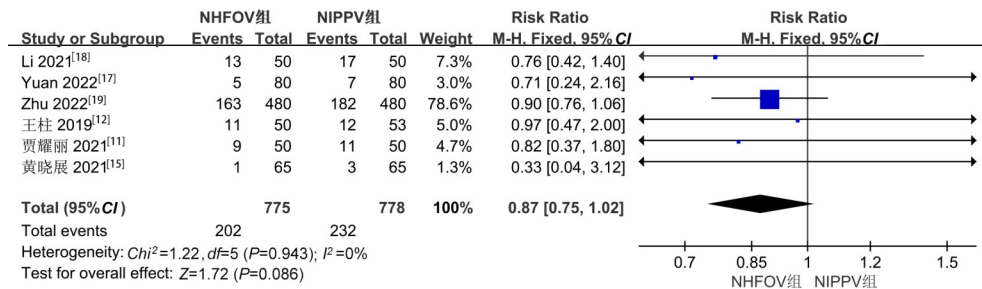


图 5 两组 BPD 发生率的森林图

2.2.4 气漏发生率 6项研究^[11-13, 16-17, 19]对气漏的发生率进行了报道。异质性检验提示各研究间无明显异质性 ($I^2=0\%$, $P=0.424$), 故采用固定效

应模型进行分析。结果显示, NHFOV组与NIPPV组气漏的发生率差异无统计学意义 ($RR=0.67$, $95\%CI: 0.35\sim 1.26$, $P=0.215$), 见图6。

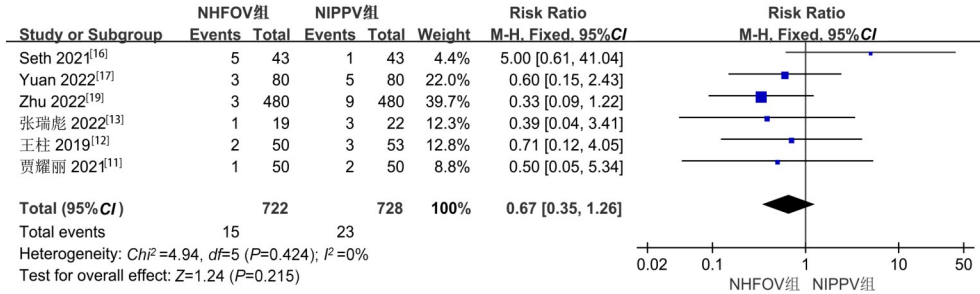


图6 两组气漏发生率的森林图

2.2.5 其他并发症 此外, 部分纳入文献对鼻损伤、PVL、IVH及ROP等并发症进行了报道。Meta分析结果显示, NHFOV组与NIPPV组鼻损

伤、PVL、IVH及ROP发生率的比较差异均无统计学意义 ($P>0.05$), 见表2。

表2 鼻损伤等并发症异质性检验及Meta分析结果

并发症	文献来源	异质性检验		效应模型	合并RR值(95%CI)	合并P值
		$I^2(\%)$	P			
鼻损伤	[11-12, 17-19]	0	0.512	固定	1.00(0.67~1.51)	0.984
PVL	[11-12, 15]	0	0.923	固定	0.88(0.30~2.55)	0.815
IVH	[12-13, 15-18]	0	0.449	固定	1.34(0.77~2.34)	0.302
ROP	[12, 15, 17-18]	0	0.980	固定	0.76(0.43~1.35)	0.346

注: [PVL] 脑室周围白质软化; [IVH] 脑室内出血; [ROP] 早产儿视网膜病变。

2.3 敏感性分析及Egger检验

通过比较固定效应模型和随机效应模型的结果进行敏感性分析, 结果见表3。两种模型对各研

究指标的分析结果基本一致, 提示结果较为稳健。Egger检验结果显示, IVH发生率这个指标存在发表偏倚 ($P<0.05$), 见表3。

表3 敏感性分析和Egger检验结果

研究指标	敏感性分析		Egger检验	
	固定效应模型 (RR值及95%CI)	随机效应模型 (RR值及95%CI)	t值	P值
拔管后72h内再插管	0.67(0.52~0.88)	0.68(0.52~0.88)	-1.06	0.338
PCO ₂	-3.83(-4.60~-3.05)	-4.12(-6.12~-2.13)	-0.44	0.683
BPD	0.87(0.75~1.02)	0.88(0.75~1.03)	-2.31	0.082
气漏	0.67(0.35~1.26)	0.62(0.31~1.24)	1.00	0.373
鼻损伤	1.00(0.67~1.51)	1.01(0.67~1.53)	-1.01	0.388
PVL	0.88(0.30~2.55)	0.88(0.30~2.57)	0.03	0.983
IVH	1.34(0.77~2.34)	1.32(0.74~2.38)	-5.99	0.004
ROP	0.76(0.43~1.35)	0.76(0.43~1.35)	-1.00	0.421

注: [PCO₂] 二氧化碳分压 (改无创辅助通气后6~24h); [BPD] 支气管肺发育不良; [PVL] 脑室周围白质软化; [IVH] 脑室内出血; [ROP] 早产儿视网膜病变。

3 讨论

无创通气是治疗早产儿呼吸系统疾病的重要呼吸支持技术。目前在新生儿重症监护室常见的无创通气方式有 nCPAP、NIPPV、经鼻双水平气道正压通气 (bi-level positive airway pressure, BiPAP) 及经鼻高流量吸氧 (high-flow nasal cannula, HFNC) 等, 但上述模式对于肺部疾病较重的患儿疗效尚不理想, 不能有效改善二氧化碳潴留, 甚至部分患儿需进行气管插管和机械通气。NHFOV 是一种新型的无创通气模式^[20], 结合了 nCPAP 及高频通气的优点, 具有无创、持续肺膨胀、潮气量小等优点。早在 1998 年, van der Hoeven 等^[21]首次报道了 NHFOV 在新生儿中的应用, 其研究指出 NHFOV 能更有效清除二氧化碳, 降低再次插管的风险。2012 年, Czernik 等^[22]的研究也证实了 NHFOV 对拔管困难的新生儿具有明显效果。近年来, NHFOV 作为一种新型有效的无创通气模式, 逐渐推广应用于临床。研究表明, 截至 2015 年, 欧洲五国 (德国、荷兰、奥地利、瑞典、瑞士) NHFOV 的使用率已达 17%^[23], 但目前仍缺乏大规模的 RCT 对其有效性及安全性进行系统的阐述^[24]。

本 Meta 分析结果显示, 对于拔管后的早产儿采用 NHFOV 呼吸支持模式, 其再插管率明显低于 NIPPV 组, 且在进行无创辅助通气 6~24 h 复查血气分析显示 PCO₂ 明显低于 NIPPV 组, 再次证实了 NHFOV 在二氧化碳清除方面优于 NIPPV, 同时可降低再插管风险。张瑞彪等^[13]及庄严等^[14]的研究指出, 持续肺动脉高压及重度 BPD 的早产儿于拔管后应用 NHFOV 也能够提高拔管成功率。这表明不仅仅在 RDS 及呼吸衰竭早产儿中, 在持续肺动脉高压和 BPD 等疾病早产儿中 NHFOV 也同样具有显著优势, 这可能与 NHFOV 的通气原理相关。NHFOV 是通过无创的方式将高频率、低潮气量、接近解剖无效腔的气体送入气道内, 通过泰勒型扩散、分子弥散、肺的震动使得肺内气体弥散充分, 从而改善通气血流失衡^[25]。此外, 高频率、低潮气量、低气道压力及无需同步等特点使得 NHFOV 在不增加气压伤的同时提高氧合、清除二氧化碳, 从而提高拔管成功率。但需注意的是, NHFOV 在气体交换动力方面仍明显低于有创高频通气模式^[26], 不能替代有创通气。

与其他的无创通气模式类似, NHFOV 也可导致患儿出现腹胀、烦躁等不良反应。在安全性方

面, 既往研究表明 NHFOV 可减少气管插管过程颅内出血的风险^[7]。本 Meta 分析结果显示, NHFOV 组 BPD、气漏、鼻损伤、PVL、IVH 及 ROP 等并发症的发生率与 NIPPV 组无明显差异, 提示其安全性与 NIPPV 相同, 可以作为一种有效且安全的无创通气模式在临床中推广应用。

本 Meta 分析存在一定的局限性: (1) Egger 检验结果显示, 结局指标 IVH 发生率存在发表偏倚, 因此, NHFOV 与 IVH 发生的关系仍需大样本的研究予以探究验证; (2) 因纳入文献数量有限, 消化系统并发症的发生率未予分析; (3) 因纳入文献在样本量、研究设计、无创呼吸机设备型号及参数调节等方面的不同, 可能对研究结果产生一定的影响; (4) 因各研究中胎龄的数据形式不同, 无法进行合并分析, 可能对研究结果产生一定的异质性。

综上所述, 本 Meta 分析显示, 基于现有的临床证据, 与 NIPPV 相比, NHFOV 可减少再插管风险, 有效清除二氧化碳, 且不会增加 BPD、气漏、鼻损伤、PVL 及 IVH 等并发症的发生。因此, 对于肺部疾患较重, 尤其是存在二氧化碳潴留的早产儿可优先考虑将 NHFOV 作为拔管后序贯式呼吸支持模式。

[参 考 文 献]

- [1] Sai Sunil Kishore M, Dutta S, Kumar P. Early nasal intermittent positive pressure ventilation versus continuous positive airway pressure for respiratory distress syndrome[J]. *Acta Paediatr*, 2009, 98(9): 1412-1415. PMID: 19523049. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2009.01348.x.
- [2] Shi Y, Tang S, Zhao J, et al. A prospective, randomized, controlled study of NIPPV versus nCPAP in preterm and term infants with respiratory distress syndrome[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2014, 49(7): 673-678. PMID: 24039148. DOI: 10.1002/ppul.22883.
- [3] Wang L, Chen L, Hu ZX, et al. Nasal intermittent positive pressure ventilation versus nasal continuous positive airway pressure for preterm infants with respiratory distress syndrome: a meta-analysis and up-date[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2015, 50(4): 402-409. PMID: 25418007. DOI: 10.1002/ppul.23130.
- [4] Mukerji A, Finelli M, Belik J. Nasal high-frequency oscillation for lung carbon dioxide clearance in the newborn[J]. *Neonatology*, 2013, 103(3): 161-165. PMID: 23258368. DOI: 10.1159/000345613.
- [5] Bottino R, Pontiggia F, Ricci C, et al. Nasal high-frequency oscillatory ventilation and CO₂ removal: a randomized controlled crossover trial[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2018, 53(9):

- 1245-1251. PMID: 29999596. DOI: 10.1002/ppul.24120.
- [6] Mukerji A, Singh B, Helou SE, et al. Use of noninvasive high-frequency ventilation in the neonatal intensive care unit: a retrospective review[J]. *Am J Perinatol*, 2015, 30(2): 171-176. PMID: 24915560. DOI: 10.1055/s-0034-1381317.
- [7] Aktas S, Unal S, Aksu M, et al. Nasal HFOV with binasal cannula appears effective and feasible in ELBW newborns[J]. *J Trop Pediatr*, 2016, 62(2): 165-168. PMID: 26710797. PMCID: PMC4886119. DOI: 10.1093/tropej/fmv088.
- [8] Chen L, Wang L, Ma J, et al. Nasal high-frequency oscillatory ventilation in preterm infants with respiratory distress syndrome and ARDS after extubation: a randomized controlled trial[J]. *Chest*, 2019, 155(4): 740-748. PMID: 30955572. DOI: 10.1016/j.chest.2019.01.014.
- [9] Null DM, Alvord J, Leavitt W, et al. High-frequency nasal ventilation for 21 d maintains gas exchange with lower respiratory pressures and promotes alveolarization in preterm lambs[J]. *Pediatr Res*, 2014, 75(4): 507-516. PMID: 24378898. PMCID: PMC3961520. DOI: 10.1038/pr.2013.254.
- [10] Higgins JPT, Green S. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions (version 5.1.0)*[EB/OL]. (2011-03-20) [2022-08-10]. <http://handbook-5-1.cochrane.org/>.
- [11] 贾耀丽, 赵惯军, 张矿召. 不同通气模式在呼吸窘迫综合征低体质量早产儿拔管撤机后的应用效果比较[J]. *中国实用医刊*, 2021, 48(12): 49-52. DOI: 10.3760/cma.j.cn115689-20210216-00757.
- [12] 王柱, 高薇薇, 沈阳, 等. 无创高频振荡通气在极低出生体重儿呼吸窘迫综合征拔管撤机后的应用[J]. *广东医学*, 2019, 40(10): 1391-1395. DOI: 10.13820/j.cnki.gdyx.20186640.
- [13] 张瑞彪, 沈凌凌, 温金玲, 等. 无创高频振荡通气在新生儿持续肺动脉高压拔管后的应用[J]. *深圳中西医结合杂志*, 2022, 32(1): 101-103. DOI: 10.16458/j.cnki.1007-0893.2022.01.032.
- [14] 庄严, 高喜容, 吴运芹, 等. 重度支气管肺发育不良早产儿拔管撤机后无创高频振荡通气的应用[J]. *中华新生儿科杂志*, 2021, 36(2): 42-47. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2021.02.008.
- [15] 黄晓展, 刘永兴, 庄方莉. 无创高频通气、经鼻间歇正压通气在新生儿呼吸窘迫综合征撤机后呼吸支持治疗中的应用效果比较[J]. *临床医学*, 2021, 41(6): 69-70. DOI: 10.19528/j.issn.1003-3548.2021.06.026.
- [16] Seth S, Saha B, Saha AK, et al. Nasal HFOV versus nasal IPPV as a post-extubation respiratory support in preterm infants: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Pediatr*, 2021, 180(10): 3151-3160. PMID: 33890156. PMCID: PMC8062142. DOI: 10.1007/s00431-021-04084-1.
- [17] Yuan G, Liu H, Wu Z, et al. Evaluation of three non-invasive ventilation modes after extubation in the treatment of preterm infants with severe respiratory distress syndrome[J]. *J Perinatol*, 2022, 42(9): 1238-1243. PMID: 35953535. DOI: 10.1038/s41372-022-01461-y.
- [18] Li Y, Wei Q, Zhao D, et al. Non-invasive high-frequency oscillatory ventilation in preterm infants after extubation: a randomized, controlled trial[J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(2): 300060520984915. PMID: 33641473. PMCID: PMC7923990. DOI: 10.1177/0300060520984915.
- [19] Zhu X, Qi H, Feng Z, et al. Noninvasive high-frequency oscillatory ventilation vs nasal continuous positive airway pressure vs nasal intermittent positive pressure ventilation as postextubation support for preterm neonates in China: a randomized clinical trial[J]. *JAMA Pediatr*, 2022, 176(6): 551-559. PMID: 35467744. PMCID: PMC9039831. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2022.0710.
- [20] Mukerji A, Dunn M. High-frequency ventilation as a mode of noninvasive respiratory support[J]. *Clin Perinatol*, 2016, 43(4): 725-740. PMID: 27837755. DOI: 10.1016/j.clp.2016.07.008.
- [21] van der Hoeven M, Brouwer E, Blanco CE. Nasal high frequency ventilation in neonates with moderate respiratory insufficiency[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 1998, 79(1): F61-F63. PMID: 9797628. PMCID: PMC1720809. DOI: 10.1136/fn.79.1.f61.
- [22] Czernik C, Schmalisch G, Bühner C, et al. Weaning of neonates from mechanical ventilation by use of nasopharyngeal high-frequency oscillatory ventilation: a preliminary study[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2012, 25(4): 374-378. PMID: 21612570. DOI: 10.3109/14767058.2011.580401.
- [23] Fischer HS, Bohlin K, Bühner C, et al. Nasal high-frequency oscillation ventilation in neonates: a survey in five European countries[J]. *Eur J Pediatr*, 2015, 174(4): 465-471. PMID: 25227281. DOI: 10.1007/s00431-014-2419-y.
- [24] 黄佳, 袁琳, 陈超. 新生儿无创高频振荡通气的研究进展[J]. *中国当代儿科杂志*, 2017, 19(5): 607-611. PMID: 28506358. PMCID: PMC7389125. DOI: 10.7499/j.issn.1008-8830.2017.05.025.
- [25] Yuan Y, Sun J, Wang B, et al. A noninvasive high frequency oscillation ventilator: achieved by utilizing a blower and a valve[J]. *Rev Sci Instrum*, 2016, 87(2): 025113. PMID: 26931897. DOI: 10.1063/1.4942048.
- [26] Yoder BA, Albertine KH, Null DM. High-frequency ventilation for non-invasive respiratory support of neonates[J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2016, 21(3): 162-173. PMID: 26906338. PMCID: PMC4902728. DOI: 10.1016/j.siny.2016.02.001.

(本文编辑: 邓芳明)