

早产儿机械通气常频模式对无创灌注指数的影响及其临床意义

赵晓琦^{1,2}, 李静¹, 王欣²

(1. 锦州医科大学附属第一医院儿科, 辽宁 锦州 121001; 2. 吉林大学第二医院新生儿科, 吉林 长春 130022)

[摘要] **目的:** 对比早产儿撤机前后右手掌(导管前)和右脚掌(导管后)的无创灌注指数(PI)的差异, 探讨机械通气(MV)常频模式是否对其产生影响, 阐明呼吸系统严重程度评分(RSS)与PI的相关性。**方法:** 选择胎龄(GA) ≥ 32 周, 体质量(BW) ≥ 1500 g的早产儿, 出生后因呼吸窘迫, 行无创辅助通气治疗, 脉搏血氧饱和度(SpO_2) $< 90\%$, 需要常频MV辅助呼吸。共纳入符合标准病例55例。出生24h后符合撤机标准, 进行撤机。记录撤机前后右手掌和右脚掌PI稳定后的30s内数值, 取其中位数。同时记录撤机前呼吸机参数吸入气体氧浓度分数(FiO_2)和平均气道压(P_{mean})。使用配对样本 t 检验比较撤机前后患儿右手掌和右脚掌PI差异。采用多元线性回归分析患儿GA、BW和RSS与撤机前右手掌(导管前)PI的相关性及 FiO_2 和 P_{mean} 与PI的相关性。**结果:** 撤机前右手掌PI低于撤机后($P < 0.05$), 撤机前右脚掌PI低于撤机后($P < 0.05$); GA、BW、RSS与PI线性回归分析, GA与PI无相关性($P > 0.05$), BW与PI存在正相关关系 [$b = 0.44$, 标准化回归系数(β) = 0.25, $P < 0.05$], RSS与PI存在负相关关系 ($b = -0.56$, $\beta = -0.68$, $P < 0.05$), 回归方程 $PI = 1.9 + 0.44 \times BW - 0.56 \times RSS$; 进一步对构成RSS的呼吸机参数 FiO_2 和 P_{mean} 进行多元线性回归分析, FiO_2 ($b = -2.52$, $\beta = -0.27$, $P < 0.05$)和 P_{mean} ($b = -0.39$, $\beta = -0.63$, $P < 0.05$)均与PI存在线性关系, 且为其危险因素, 回归系数中 P_{mean} 的 β 值大于 FiO_2 , 前者对PI影响更大。**结论:** 常频MV模式可以影响PI, 该模式下RSS是PI的危险因素, 较高的RSS可对循环产生不利影响, 其中 P_{mean} 较 FiO_2 对PI影响更大。

[关键词] 灌注指数; 机械通气; 早产儿; 平均气道压; 吸入气体氧浓度分数; 呼吸系统严重程度评分; 胎龄; 出生体质量

[中图分类号] R722.6 **[文献标志码]** A

Effect of conventional mechanical ventilation on noninvasive perfusion index in preterm infants and its clinical significance

ZHAO Xiaoqi^{1,2}, LI Jing¹, WANG Xin²

(1. Department of Pediatrics, First Affiliated Hospital, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121001, China; 2. Department of Neonatology, Second Hospital, Jilin University, Changchun 130022, China)

ABSTRACT Objective: To compare the differences in noninvasive perfusion index (PI) before and after extubation between the right palm (preductal) and right sole (postductal) in the preterm infants, and to

[收稿日期] 2023-03-16

[基金项目] 辽宁省科技厅自然科学基金指导计划项目(20180551155); 吉林省卫健委卫生健康科技能力提升项目(2021LC026)

[作者简介] 赵晓琦(1984—), 男, 辽宁省辽阳市人, 主治医师, 在读硕士研究生, 主要从事危重症新生儿的救治和相关技术方面的研究。

[通信作者] 李静, 教授, 硕士研究生导师(E-mail: 451513796@qq.com)

discuss whether the conventional frequency mechanical ventilation (MV) mode has an effect on it, and to clarify the correlation between the respiratory severity score (RSS) and PI. **Methods:** The preterm infants with the gestational age (GA) ≥ 32 weeks and body weight (BW) $\geq 1\ 500$ g who were born with respiratory distress and underwent noninvasive assisted ventilation therapy, with pulse oxygen saturation (SpO_2) $< 90\%$, requiring conventional frequency MV assistance, were selected. A total of 55 patients met the inclusion criteria were included. The extubation was carried out after meeting the criteria 24 h after birth. The median values within 30 s after stabilization of PI in the right palm and right sole were recorded before and after extubation. At the same time, the ventilator parameters such as the fraction of inspired oxygen (FiO_2) and the mean airway pressure (P_{mean}) before extubation were recorded. The paired samples *t*-test was used to compare the differences in PI of the right palm and right sole before and after extubation; multivariate linear regression analysis was used to analyze the correlation between GA, BW, and RSS with the preductal PI of the right palm before extubation and the correlation between FiO_2 and P_{mean} with PI. **Results:** The PI of the right palm before extubation was lower than after extubation ($P < 0.05$); the PI of the right sole before extubation was lower than that after extubation ($P < 0.05$); the linear regression analysis results showed there was no correlation between GA and PI ($P > 0.05$), there was a positive correlation between BW and PI [$b = 0.44$, standardized regression coefficient (β) = 0.25, $P < 0.05$], and there was a negative correlation between RSS and PI ($b = -0.56$, $\beta = -0.68$, $P < 0.05$), and the regression equation was $\text{PI} = 1.9 + 0.44 \times \text{BW} - 0.56 \times \text{RSS}$; the further multivariate linear regression analysis results of the ventilator parameters showed that the ventilator parameters constituting the RSS, FiO_2 ($b = -2.52$, $\beta = -0.27$, $P < 0.05$) and P_{mean} ($b = -0.39$, $\beta = -0.63$, $P < 0.05$), both showed a linear relationship with PI and they were risk factors for it, and the β value of P_{mean} was greater than that of FiO_2 , indicating that the former had a greater impact on PI. **Conclusion:** The conventional frequency MV mode can affect PI, and RSS under this mode is a risk factor for PI; higher RSS can have an adverse effect on the circulation, and P_{mean} has a greater impact on PI compared with FiO_2 .

KEYWORDS Perfusion index; Mechanical ventilation; Premature infant; Mean airway pressure; Fraction of inspiration O_2 ; Respiratory severity score; Gestational age; Birth weight

早产儿是新生儿中特殊一类人群, 相较于足月儿, 因其发育尚不成熟, 生后需要更多的生命支持, 而机械通气 (mechanical ventilation, MV) 就是其中一种高级生命支持技术^[1]。MV可以提高早产儿吸入气体的氧分数, 同时可以提供吸入气体的驱动力, 减少呼吸肌的做功并改善呼气末肺泡的萎陷情况, 从而达到治疗呼吸窘迫的目的^[2]。但MV是一种侵入式的有创技术, 可能导致较多不良结局, 如MORA等^[3]在《呼吸机管理》中提出在生理状态下, 胸腔内负压 (也称为胸内负压或肺内负压), 其是维持肺部扩张或正常呼吸功能的重要力量, 其作用是维持肺泡扩张、促进气体流动以及参与呼气。除了影响呼吸系统, 胸内负压降低右心房 (right atrium, RA) 压力, 并对下腔静脉 (inferior vena cava, IVC) 产生吸吮作用, 增加静脉回流。正压通气的应用改变了这种生理机能。现有的研究较多关注MV引起的支气管肺发育不良 (bronchopulmonary dysplasia, BPD) 和早产儿视

网膜病变 (retinopathy of prematurity, ROP) 等^[4-7], 有关MV对于循环影响的研究相对较少。需要MV治疗的早产儿, 较高的通气压力可以获得较好的通气, 但同时也对心功能产生不利影响。目前对心功能的监测主要依赖于床旁超声心动图 (bedside echocardiography, EB-Echo), 但床旁心脏超声无法连续评估, 且需要具有超声知识的专业医生操作。有创动脉血压 (invasive blood pressure, IABP) 和中心静脉压 (central venous pressure, CVP) 也是监测心功能的技术, 但两者均为侵入式技术, 可能引发感染和血栓等并发症。在2019年成人重症监护病房 (intensive care unit, ICU) 中的一项回顾性队列研究中发现需要MV治疗的患者, 其较高的平均气道压 (mean airway pressure, P_{mean}) 和较低的灌注指数 (perfusion index, PI) 存在相关性^[8], 2004年GULLBERG等^[9]研究了新生儿高频震荡模式对心功能的影响, 发现在此模式下 P_{mean} 可能对心输出量产生不利影响。但是有关早

产儿常频MV治疗模式和心功能的相关性研究目前尚未见相关报道。目前有关早产儿PI的研究主要用于早产儿动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)等疾病的预测^[10-11]。因此本研究以55例早产儿为研究对象,通过探讨MV常频模式对PI的影响,阐明呼吸机参数与PI的线性关系,为今后的MV常频模式下监测早产儿心功能提供一种思路。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为单中心、前瞻性研究,研究从2022年1月开始,就诊于吉林大学第二医院新生儿科的早产儿陆续纳入研究,2022年12月研究对象收集截止。该研究通过了吉林大学第二医院伦理委员会批准,数据的采集征得了早产儿家属的同意,并签署知情同意书。

1.2 纳入标准和排除标准 胎龄(gestational age, GA) ≥ 32 周, 体质量(birth weight, BW) $\geq 1\ 500$ g的早产儿,且符合2015年新生儿MV指南中MV指征:①生后无明显自主呼吸,面罩正压通气复苏无效;②频繁呼吸暂停,药物或经鼻持续气道正压通气(nasal continuous positive airway pressure, nCPAP)治疗无效;③nCPAP治疗时,呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP) ≥ 6 cmH₂O,吸入气体氧浓度分数(fraction of inspiration O₂, FiO₂) $> 40\%$,经皮血氧饱和度 $< 85\%$;④氧疗时,FiO₂ $> 60\%$,动脉氧分压 < 50 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)或经皮血氧饱和度 $< 85\%$;⑤动脉二氧化碳 > 60 mmHg并伴有持续性酸中毒(pH < 7.20),纳入本研究,通气模式均为同步间歇指令通气(synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV),参数设定潮气量6 mL·kg⁻¹, PEEP为5 cmH₂O, FiO₂维持经皮血氧饱和度90%~95%所需要的浓度。排除标准:①GA < 32 周, BW $< 1\ 500$ g早产儿;②呼吸系统,气胸和新生儿肺炎等;③循环系统:先天性心脏病、持续性肺动脉高压和休克等;④神经系统,颅内高压和颅内出血等;⑤消化系统,先天性膈疝、脐膨出和消化道穿孔等;⑥其他系统,先天性发育异常和弥漫性血管内凝血等。

1.3 PI测定方法 ①入组早产儿处于安静状态,四肢呈功能和水平位;②床头抬高30°,头高脚低;③四肢末梢皮温温暖,毛细血管再充盈时间(capillary refill time, CRT) < 3 s;④根据GA、

BW和日龄设置合适的温箱温度及湿度;⑤脉氧指套分别固定于右手掌(导管前)和右脚掌(导管后)。出生24 h后符合撤机标准(FiO₂ $\leq 40\%$, PIP ≤ 18 cmH₂O, PCO₂ < 60 mmHg),将呼吸机模式改为NIPPV,呼吸机参数(FiO₂和PEEP等)同前,撤机前记录FiO₂和P_{mean},待右手掌和右脚掌PI数值稳定后记录30 s,选取中位数。记录撤机后待右手掌和右脚掌PI数值稳定记录30 s,选取中位数。

1.4 相关可能影响因素采集 ①一般资料:GA和BW;②呼吸系统严重程度评分(respiratory severity score, RSS):RSS(RSS=P_{mean}×FiO₂)是一种无创评估工具,常用于监测婴儿呼吸衰竭的严重程度。在几项重要研究中,RSS被用作氧合指数(oxygenation index, OI)的替代指标。

1.5 统计学分析 采用SPSS 25.0统计软件进行统计学分析。收集同一部位撤机前后PI差值,右手掌PI(撤机前-撤机后)和右脚掌(撤机前-撤机后)均符合正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2组撤机前后右手掌和右脚掌PI的差异比较采用配对样本 t 检验,采用多元线性回归分析GA、BW和RSS与撤机前右手掌(导管前)PI的相关性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料 共纳入符合标准的早产儿55例,GA(33.2±1.1)周, BW(1.99±0.38) kg。其中男婴34例(62%),GA(33.3±1.2)周, BW(2.05±0.33) kg;女婴21(38%)例,GA(33.2±1.1)周, BW(1.94±0.40) kg。

2.2 右手掌和右脚掌撤机前后PI的差异 撤机后右手掌PI大于撤机前($P < 0.05$);撤机后右脚掌PI大于撤机前($P < 0.05$)。因此常频MV模式对早产儿无创PI产生影响,且为负向影响(表1)。

2.3 撤机前GA、BW和RSS与右手掌PI多元线性回归分析 对GA、BW和RSS与撤机前右手掌PI进行多元线性回归分析,调整后决定系数(coefficient of determination, R²)=0.62,提示参数GA、BW和RSS可以解释62%的PI变异,德宾沃森(Durbin-Watson, D-W)值为1.75,符合独立性(表2),回归系数中GA [$b=0.01$, 标准化回归系数(β)=0.01, $P > 0.05$]不会影响($P > 0.05$)PI。回归系数:BW ($b=0.44$, $\beta=0.25$, $P < 0.05$)和RSS ($b=-0.56$, $\beta=-0.68$, $P < 0.05$),均会影响(两者 $P < 0.05$)PI,其中BW

表1 撤机前后右手掌和右脚掌PI的差异

Tab. 1 PI differences of right palm and right foot before and after weaning

(n=55, $\bar{x}\pm s$)

Part	PI		Difference of PI	t	P
	Before weaning	After weaning			
Right palm	1.73±0.65	2.10±0.65*	-0.37±0.42	-6.35	<0.05
Right foot	1.67±0.62	1.99±0.72*	-0.32±0.38	-6.35	<0.05

*P<0.05 vs before weaning.

正向影响 ($\beta>0$) PI, RSS 负向影响 ($\beta<0$) PI, 残差服从正态分布, 线性回归在正态条件下是可达到的。见表3和图1。

表2 多元线性回归R²结果和残差独立性检验Tab. 2 R² results and residual independence tests in multiple linear regression

R	R ²	R ² after adjustment	D-W
0.80	0.64	0.62	1.75

表3 撤机前GA、BW、RSS与右手掌PI多元线性回归系数

Tab. 3 Multiple linear regression coefficients of GA, BW, RSS and right palm PI before weaning

Variable	b	Standard error	β	t	P
Constant	1.90	1.73	-	1.10	0.28
GA	0.01	0.06	0.01	0.14	0.89
BW	0.44	0.18	0.25	2.40	0.02
RSS	-0.56	0.07	-0.68	-7.71	<0.01

“-”:No data.

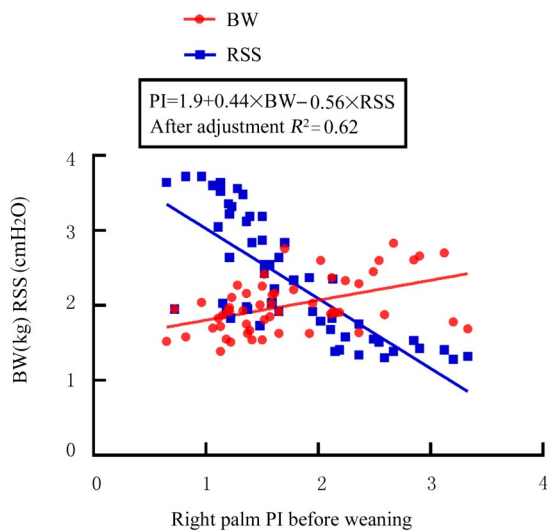


图1 撤机前BW和RSS与右手掌PI的线性关系

Fig. 1 Linear relationship between BW, RSS, and high palm PI before weaning

2.4 撤机前FiO₂和P_{mean}与右手掌PI的线性回归分析 纳入的早产儿FiO₂ (0.29±0.07)、P_{mean} (7.79±1.06)和RSS (2.34±0.79), FiO₂和P_{mean}与PI进行多元线性回归分析, FiO₂ (b=-2.52, $\beta=-0.27$, P<0.05)和P_{mean} (b=-0.39, $\beta=-0.63$, P<0.05)均会影响PI, 两者负向影响PI ($\beta<0$)。见表4。

表4 撤机前FiO₂和P_{mean}与右手掌PI的线性回归系数Tab. 4 Linear regression coefficients of FiO₂ and P_{mean} and right palm PI before weaning

Variable	b	Standard error	β	t	P
Constant	5.49	0.37	-	14.78	<0.01
FiO ₂	-2.52	0.94	-0.27	-2.69	0.01
Pmean	-0.39	0.06	-0.63	-6.33	<0.01

“-”:No data.

3 讨论

MV是早产儿呼吸衰竭重要的治疗手段,也是新生儿重症监护病房应用最为广泛的技术之一。MV在支持呼吸时,为了早产儿不成熟的肺维持足够的全身氧合,通常需要吸入高于正常氧浓度的气体和违反正常生理的正压通气,两者共同导致通气诱导的肺损伤和氧化应激诱导的肺损伤^[7]。本研究通过对同一部位(导管前和导管后)撤机前后PI差值进行统计学分析,证明MV常频模式可以影响早产儿PI,进一步将P_{mean}、FiO₂与PI进行线性回归分析,发现两者均是PI的危险因素,即随着P_{mean}和FiO₂的增大,PI将减低。本研究还发现压力变量P_{mean}与PI的负相关系数大于FiO₂,2019年的成人ICU中的一项回顾性队列研究^[8]中发现:需要MV治疗的患者,其较高的P_{mean}和较低的PI存在相关性。FiO₂影响PI的病理生理机制尚不清楚,可能与吸入的气体氧产生氧自由基有关^[12-13]。研究^[13-14]表明:早期暴露于氧化应激(oxidative stress, OS)能使肺更易引发早产儿的一些典型疾

病^[15-17], 因此本课题组推测 FiO_2 对 PI 的影响可能是 OS 所导致的。

接受 MV 治疗的早产儿, 因呼吸衰竭死亡的比例很低, 多因血流动力学障碍而临床死亡^[18-19]。其原因是肺部不仅是呼吸器官(包括右心室和左心房之间的肺循环), 而且还是血液动力学器官^[20]。在 MV 患者中, 正压气流使肺泡充气并压缩嵌入肺泡壁的毛细血管。同时, 其还会拉伸肺泡周围的毛细血管, 可增加肺血管阻力和右心室后负荷, 从而抑制血液流向心脏左侧, 导致组织低血压。正压通气是非生理性的, 在生理状态下, 吸气期间胸压为负压, 并且该负压将气流和胸外血流吸入肺中, 保证通气/血流正常。然而, 正压通气会导致胸内正压, 在吸气过程中会驱使气流进入肺部并驱使血液流出, 造成通气/血流失衡^[21]。

研究^[5, 7]显示: MV 引起过度膨胀的肺, 产生的细胞因子和趋化因子, 导致促炎介质释放等途径, 造成早产儿支气管肺发育不良(bronchopulmonary dysplasia, BPD)。WHEATER 等^[4]研究了 47 例因 BPD 不能撤机, MV 时间均超过 27 d 的 20 例新生儿, 结果显示: 在接受 MV 时长超过 50 d 新生儿中, 无存活者, 新生儿 MV 与高死亡率相关。1999 年 GULLBERG 等^[22]通过对 8 例新生儿使用不同呼吸机通气模式压力控制通气(pressure control ventilation, PCV)与压力支持通气(pressure support ventilation, PSV), 测量心输出量的相关数据, 在未显著改变心率的情况下, 发现降低 P_{mean} , 一氧化碳(carbon monoxide, CO)显著增加($16\% \pm 2\%$) ($P < 0.01$), 增加降低 P_{mean} , CO 降低($13\% \pm 4\%$) ($P < 0.05$), 新生儿和婴儿在 P_{mean} 变化时, 能够通过显著改变每搏输出量来调节心输出量, 而不仅仅是依赖心率的变化。2004 年 GULLBERG 等^[9]在开展的一项前瞻性研究结果显示: 14 例患儿年龄 < 1 岁, BW < 10 kg, 接受高频振荡通气(high-frequency oscillatory ventilation, HFOV)治疗的患者被纳入研究, 所有患者均接受 HFOV 治疗 > 12 h, 研究组患儿近端气道压力(proximal airway pressure, P_{aw})改变时 CO 变化显著($P < 0.05$), 与基线比较, P_{aw} 最高时变化最大 11% ($-19\% \sim -9\%$)。而对照组随时间未见显著变化, 研究表明 CO 受 HFOV 期间 P_{mean} 变化的影响, 与常频正压通气期间 P_{mean} 的影响一致。1986 年 MAAVAN 等^[23]采用超声心动图

对 19 例严重呼吸窘迫综合症的早产儿左心室功能进行评估, 利用数字化 M 型超声心动图数据测量 MV 和 PEEP 治疗前及治疗期间左心室大小以及功能, 在通气期间, 左心室最大径和充盈率峰值减小 ($P < 0.001$), 左心室收缩分数略有降低 ($P = 0.05$)。本研究结果显示 P_{mean} 与 CO 呈负相关关系, 影响 PI 的因素较多^[24], 而 CO 是 PI 的主要影响因素, 两者存在相关性^[25], 故 P_{mean} 升高可引起 PI 降低。

MV 常频模式可以对 CO 造成不利影响, MV 的早产儿 CO 需要定期监测, 目前临床上, 对 CO 的评估较多依赖于 EB-Echo、IABP 和 CVP, 尤其是 EB-Echo, 具有较多优点, 但也存在一些缺点, 如不能动态连续监测, 往往发现血流动力学不稳定时已处于休克失代偿期^[26-27]。PI 是一种无创、简单的测量手段, 在麻醉科和监护病房等临床科室广泛应用, 大量研究^[28-30]已证实其反映脉动流量的变化, 也代表体循环向组织提供血液灌注的能力。脉动流量越大, 脉动强度越大, PI 值越大。LIMA 等^[31]选取 108 名健康成人志愿者和 37 例成人重症患者, 测量健康成人志愿者(第 1 组)的毛细血管再充盈时间(capillary refill time, CRT)、PI 和动脉血氧饱和度(oxygen saturation in arterial blood, SaO_2), 在不同的外周灌注曲线下, 测量成人重症患者(第 2 组)的 CRT、PI 和 SaO_2 等, 发现外周灌注指数与核心至趾部温度差之间存在显著相关性 ($R^2 = 0.52$, $P < 0.001$), PI 可以反映组织灌注, 并作为局部血流波动的持续监测手段。CORSINI 等^[32]对 GA 37~40 周⁺, BW 2.5~4.0 kg, 健康的 49 名足月儿开展先天性心脏病(congenital heart disease, CHD)筛选, 在出生后 (48 ± 2) h 测量婴儿右手掌(导管前)和任一只脚(导管后)的 PI, 同时测量氧饱和度, 用于 CHD 筛查, 筛选程序结束后立即进行心脏超声检查, 以测量左心室输出量(left ventricular output, LVO)。导管前后 PI 与 LVO 和 LVO/kg 存在显著相关性 ($P < 0.0001$)。PI (导管前)与 LVO ($r = 0.68$) 和 LVO/kg ($r = 0.61$) 存在相关关系, 每增加一个单位 PI (导管前), LVO 增加 $151 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (95%CI: 103~198), LVO 增加 $42 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (95%CI: 26~58)。PI (导管后)与 LVO ($r = 0.74$) 和 LVO/kg ($r = 0.73$) 存在相关性, 每增加一个单位 PI (导管后), LVO 增加 $123 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ (95%CI: 90~155), LVO 增加

37 mL·kg⁻¹·min⁻¹ (95%CI: 27~47), 健康足月儿 PI 与 LVO 存在相关关系。研究^[25, 33]发现 CO 是 PI 的主要决定因素。因为 PI 可以间接地反映心功能的变化, 且其具有无创性、连续性等特点, 并不需要相关的专业知识, 可以在早期发现病情变化。PI 一定程度反映了 CO 的变化, 临床工作者需要根据患者 PI 调整呼吸机变量以维持最低 Pmean^[8]。

RSS 是一种稳态无创评估工具, 临床上常用于监测婴儿呼吸衰竭的严重程度^[34-37]。MERCIER 等^[38]、ZUPANCIC 等^[39]和 IYER 等^[40]均采用 RSS 预测呼吸衰竭的新生儿发病率和死亡率。BHATTACHARJEE 等^[35]的一项单中心研究, 纳入了出生后 30 d 内接受了 MV 的极低出生 BW 早产儿 69 例, 以出生后 3 d 内的时间加权平均 RSS 作为受试者工作特征 (receiver operator characteristic, ROC) 曲线预测预后; 计算灵敏度、特异度、阳性预测值、阴性预测值和似然比; 结果发现 RSS 的灵敏度和特异度均高于 FiO₂ 及 Pmean。本研究将 RSS 与 PI 进行线性回归分析, 发现两者呈较好的负相关关系, 表明 RSS 不仅可预测严重呼吸衰竭的预后, 也可用于 CO 的动态评估。

综上所述, 基于呼吸机变量与 PI 的线性回归分析, 可以发现对于 PI, 较高的 Pmean 和 FiO₂ 是其危险因素。PI 因其特点, 可以作为调整 MV 参数以实现循环保护的参考指标之一。

利益冲突声明:

所有作者声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:

李静负责论文的整体设计, 赵晓琦负责论文的撰写和数据的统计学分析, 王欣负责论文数据的收集和整理。

[参考文献]

- [1] MEINERS S, HILGENDORFF A. Early injury of the neonatal lung contributes to premature lung aging: a hypothesis[J]. *Mol Cell Pediatr*, 2016, 3(1): 24.
- [2] VIRKUD Y V, HORNIK C P, BENJAMIN D K, et al. Respiratory support for very low birth weight infants receiving dexamethasone[J]. *J Pediatr*, 2017, 183: 26-30.e3.
- [3] MORA CARPIO A L, MORA J I. Ventilator management [M]. Treasure Island: StatPearls Publishing LLC, 2022.
- [4] WHEATER M, RENNIE J M. Poor prognosis after prolonged ventilation for bronchopulmonary dysplasia[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 1994, 71(3): F210-F211.
- [5] JOBE A H, IKEGAMI M. Mechanisms initiating lung injury in the preterm[J]. *Early Hum Dev*, 1998, 53(1): 81-94.
- [6] CHEN J, SMITH L E. Retinopathy of prematurity[J]. *Angiogenesis*, 2007, 10(2): 133-140.
- [7] SHUKLA V V, AMBALAVANAN N. Recent advances in bronchopulmonary dysplasia[J]. *I J Pediatr*, 2021, 88(7): 690-695.
- [8] SU L, ZHANG R, ZHANG Q, et al. The effect of mechanical ventilation on peripheral perfusion index and its association with the prognosis of critically ill patients[J]. *Crit Care Med*, 2019, 47(5): 685-690.
- [9] GULLBERG N, WINBERG P, SELLDEN H. Changes in mean airway pressure during HFOV influences cardiac output in neonates and infants[J]. *Acta Ana Sca*, 2004, 48(2): 218-223.
- [10] GOMEZ-POMAR E, MAKHOUL M, WESTGATE P M, et al. Relationship between perfusion index and patent ductus arteriosus in preterm infants[J]. *Pediatr Res*, 2017, 81(5): 775-779.
- [11] OSMAN A A, ALBALAWIM, DAKSHINAMURTIS, et al. The perfusion index histograms predict patent ductus arteriosus requiring treatment in preterm infants[J]. *Eur J Pediatr*, 2021, 180(6): 1747-1754.
- [12] KELLNER M, NOONEPALLE S, LU Q, et al. ROS signaling in the pathogenesis of acute lung injury (ALI) and acute respiratory distress syndrome (ARDS) [J]. *Advan Exper Med Bio*, 2017, 967: 105-137.
- [13] MARSEGLIA L, ANGELO GD, GRANESE R, et al. Role of oxidative stress in neonatal respiratory distress syndrome[J]. *Free Rad Bio Med*, 2019, 142: 132-137.
- [14] TORRES-CUEVAS I, PARRA-LLORCA A, SANCHEZ-ILLANA A, et al. Oxygen and oxidative stress in the perinatal period[J]. *Redox Bio*, 2017, 12: 674-681.
- [15] NEGI R, PANDE D, KARKI K, et al. A novel approach to study oxidative stress in neonatal respiratory distress syndrome[J]. *BBA Clin*, 2015, 3: 65-69.
- [16] DIZDAR E A, URAS N, OGUZ S, et al. Total antioxidant capacity and total oxidant status after surfactant treatment in preterm infants with respiratory distress syndrome[J]. *Ann Clin Bioch*, 2011, 48(Pt 5): 462-467.
- [17] CHIMENZ R, CANNAVO L, GASBARRO A, et al. PPHN and oxidative stress: a review of literature[J]. *J Bio Reg Homeo Ag*, 2020, 34(4 Suppl. 2): 79-83.
- [18] VIEILLARD-BARON A, GIROU E, VALENTE E,

- et al. Predictors of mortality in acute respiratory distress syndrome. Focus On the role of right heart catheterization[J]. *Am J Respir Crit Care Med*, 2000, 161(5): 1597-1601.
- [19] YU M S, IN K S, SOOK K Y. Risk factors associated with prolonged mechanical ventilation after surgical patent ductus arteriosus ligation in preterm infants[J]. *J Mat Fetal Neonatal Med*, 2022, 35(19): 3714-3721.
- [20] VIEILLARD-BARON A, MATTHAY M, TEBOUL J L, et al. Experts' opinion on management of hemodynamics in ARDS patients: focus on the effects of mechanical ventilation [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(5): 739-749.
- [21] KWON Y, DEBATY G, PUERTAS L, et al. Effect of regulating airway pressure on intrathoracic pressure and vital organ perfusion pressure during cardiopulmonary resuscitation: a non-randomized interventional cross-over study [J]. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*, 2015, 23: 83.
- [22] GULLBERG N, WINBERG P, SELLDEN H. Changes in stroke volume cause change in cardiac output in neonates and infants when mean airway pressure is altered [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1999, 43(10): 999-1004.
- [23] MAAYAN C, EYAL F, MANDELBERG A, et al. Effect of mechanical ventilation and volume loading on left ventricular performance in premature infants with respiratory distress syndrome[J]. *Crit Care Med*, 1986, 14(10): 858-860.
- [24] TAPAR H, KARAMAN S, DOGRU S, et al. The effect of patient positions on perfusion index[J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18(1): 111.
- [25] JANAILLAC M, BEAUSOLEIL T P, BARRINGTON K J, et al. Correlations between near-infrared spectroscopy, perfusion index, and cardiac outputs in extremely preterm infants in the first 72 h of life[J]. *Eur J Pediatr*, 2018, 177(4): 541-550.
- [26] SEHGAL A, RUOSS J L, STANFORD A H, et al. Hemodynamic consequences of respiratory interventions in preterm infants[J]. *J Perinatol*, 2022, 42(9): 1153-1160.
- [27] NESTAAS E, SCHUBERT U, DE BOODE W P, et al. Tissue Doppler velocity imaging and event timings in neonates: a guide to image acquisition, measurement, interpretation, and reference values [J]. *Pediatr Res*, 2018, 84(Suppl 1): 18-29.
- [28] ALIAN A A, SHELLEY K H. Photoplethysmography[J]. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol*, 2014, 28(4): 395-406.
- [29] REISNER A, SHALTIS P A, MCCOMBIE D, et al. Utility of the photoplethysmogram in circulatory monitoring[J]. *Anesthesiology*, 2008, 108(5): 950-958.
- [30] ELGENDI M. Optimal signal quality index for photoplethysmogram signals[J]. *Bioengineering*, 2016, 3(4). DOI:10.3390/bioengineering3040021.
- [31] LIMA A P, BEELEN P and BAKKER J. Use of a peripheral perfusion index derived from the pulse oximetry signal as a noninvasive indicator of perfusion[J]. *Crit Care Med*, 2002, 30(6): 1210-1213.
- [32] CORSINI I, CECCHI A, COVIELLO C, et al. Perfusion index and left ventricular output correlation in healthy term infants[J]. *Eur J Pediatr*, 2017, 176(8): 1013-1018.
- [33] TAKAHASHI S, KAKIUCHI S, NANBA Y, et al. The perfusion index derived from a pulse oximeter for predicting low superior vena cava flow in very low birth weight infants[J]. *J Perinatol*, 2010, 30(4): 265-269.
- [34] SU J P, MI H B, MUN H J, et al. Risk factors and clinical outcomes of extubation failure in very early preterm infants: a single-center cohort study[J]. *BMC Pediatr*, 2023, 23(1): 36.
- [35] BHATTACHARJEE I, DAS A, COLLIN M, et al. Predicting outcomes of mechanically ventilated premature infants using respiratory severity score[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2022, 35(23): 4620-4627.
- [36] SHAH S I, ABOUDI D, LA GAMMA E F, et al. Respiratory severity score greater than or equal to 2 at birth is associated with an increased risk of mortality in infants with birth weights less than or equal to 1250 g[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020, 55(12): 3304-3311.
- [37] SEO Y M, YUM S K, SUNG I K. Respiratory severity score with regard to birthweight during the early days of life for predicting pulmonary hypertension in preterm infants[J]. *J Trop Pediatr*, 2020, 66(6): 561-568.
- [38] MERCIER J C, HUMMLER H, DURMEYER X, et al. Inhaled nitric oxide for prevention of bronchopulmonary dysplasia in premature babies (EUNO): a randomised controlled trial[J]. *Lancet*, 2010, 376(9738): 346-354.
- [39] ZUPANCIC J A, HIBBS A M, PALERMO L, et al. Economic evaluation of inhaled nitric oxide in preterm infants undergoing mechanical ventilation [J]. *Pediatr*, 2009, 124(5): 1325-1332.
- [40] IYER N P and MHANNA M J. Non-invasively derived respiratory severity score and oxygenation index in ventilated newborn infants[J]. *Pediatr pulmonol*, 2013, 48(4): 364-369.