

• 临床研究 •

doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2025.10.015

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250729.1916.006\(2025-07-30\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.r.20250729.1916.006(2025-07-30))无创超声血流动力学监测在高原地区危重新生儿中的应用研究^{*}徐珍娥^{1,2}, 张伟丽¹, 杨娅丽¹, 徐晨霞¹, 向巴曲西¹

(1. 昌都市人民医院儿科, 西藏昌都 854000; 2. 重庆医科大学附属儿童医院新生儿科/国家儿童健康与疾病临床医学研究中心/儿童发育疾病研究教育部重点实验室/重庆市卫生健康委儿童重要器官发育与疾病重点实验室, 重庆 400014)

[摘要] **目的** 探讨无创超声血流动力学监测在高原地区(海拔 $>2\,500\text{ m}$)危重新生儿心功能管理中的应用价值。**方法** 选取 2023 年 9 月至 2024 年 12 月昌都市人民医院新生儿重症监护病房收治的 205 例危重新生儿为研究对象。根据随机数字表法分为对照组($n=105$)和观察组($n=100$), 对照组接受传统方法监测, 观察组于入院 12 h 内接受无创超声血流动力学监测, 测量校正流动时间(FTC)、每搏输出量(SV)、心脏指数、外周血管阻力指数(SVRI)和心肌肌力指数(SMII), 并根据监测结果和病情变化调整治疗方案, 治疗后 4~8 h 再次监测上述指标, 比较治疗前后血流动力学指标变化情况。此外, 比较两组住院时间及 28 d 生存情况, 分析住院时间及 28 d 生存率的影响因素。**结果** 与治疗前比较, 观察组治疗后 FTC[(364.03 $\pm$ 47.70) ms *vs.* (414.09 $\pm$ 52.20) ms]、SVRI[(1 521.00 $\pm$ 186.93) dyn $\cdot$ s $\cdot$ (cm⁵)⁻¹ $\cdot$ (m²)⁻¹ *vs.* (1 720.00 $\pm$ 347.31) dyn $\cdot$ s $\cdot$ (cm⁵)⁻¹ $\cdot$ (m²)⁻¹]降低, SV[(5.23 $\pm$ 0.66) mL *vs.* (5.09 $\pm$ 0.88) mL]、心脏指数[(3.35 $\pm$ 1.17) L $\cdot$ min⁻¹ $\cdot$ (m²)⁻¹ *vs.* (3.19 $\pm$ 0.99) L $\cdot$ min⁻¹ $\cdot$ (m²)⁻¹]、SMII[(0.56 $\pm$ 0.10) W/m² *vs.* (0.51 $\pm$ 0.14) W/m²]升高, 差异有统计学意义($P<0.05$)。观察组住院时间较对照组更短[(11.53 $\pm$ 3.61) d *vs.* (13.83 $\pm$ 2.56) d], 差异有统计学意义($P<0.05$)。观察组 28 d 生存率较对照组更高(100.0% *vs.* 98.1%), 但差异无统计学意义($P>0.05$)。多元线性回归分析结果显示, 胎龄、心脏指数均与住院时间呈负相关($P<0.05$)。二元 logistic 回归分析结果显示, 体重是 28 d 生存率的影响因素($OR=4.600, 95\%CI: 2.465\sim 10.654, P=0.001$)。**结论** 无创超声血流动力学监测可早期识别高原危重新生儿血流动力学改变, 指导治疗以缩短住院时间。

[关键词] 超声; 血流动力学监测; 高原; 危重症; 新生儿; 预后**[中图分类号]** R722.1**[文献标识码]** A**[文章编号]** 1671-8348(2025)10-2326-05Application of noninvasive ultrasonic hemodynamic monitoring in critically ill neonates in plateau area^{*}XU Zhen^{1,2}, ZHANG Weili¹, YANG Yali¹, XU Chenxia¹, XIANG Baquxi¹

(1. Department of Pediatrics, Qamdo People's Hospital, Qamdo, Tibet 854000, China;

2. Department of Neonatology, Children's Hospital of Chongqing Medical University/National Clinical Research Center for Child Health and Disorders/Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders/Key Laboratory of Children's Vital Organ Development and Diseases, Chongqing Municipal Health Commission, Chongqing 400014, China)

[Abstract] **Objective** To evaluate the clinical value of non-invasive ultrasound hemodynamic monitoring in critically ill neonates in plateau area (altitude $>2\,500\text{ m}$). **Methods** A total of 205 critically ill neonates admitted to the NICU of Qamdo People's Hospital from September 2023 to December 2024 were randomly divided into the control group ($n=105$) and the observation group ($n=100$) using a random number table. There was no statistically significant difference in the baseline data between the two groups ($P>0.05$). The observation group underwent noninvasive ultrasonic hemodynamic monitoring within 12 hours of admission, measuring corrected flow time (FTC), stroke volume (SV), cardiac index, systemic vascular resistance index (SVRI), and myocardial contractility index (SMII). The control group received conventional monitoring. The treatment was adjusted based on the results. The above parameters were remeasured 4–8 hours af-

^{*} 基金项目: 西藏自治区自然科学基金组团式医学援藏项目[XZ2023ZR-ZY71(Z)]。

ter treatment adjustment. Hospital stay and 28 d survival rate were compared between the two groups. Multiple linear regression and binary logistic regression were used to analyze the factors influencing hospital stay and 28 d survival rate, respectively. **Results** Compared to pre-treatment levels, the observation group showed significant post-treatment decreases in FTC $[(364.03 \pm 47.70) \text{ ms vs. } (414.09 \pm 52.20) \text{ ms}]$ and SVRI $[(1\,521.00 \pm 186.93) \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot (\text{cm}^5)^{-1} \cdot (\text{m}^2)^{-1} \text{ vs. } (1\,720.00 \pm 347.31) \text{ dyn} \cdot \text{s} \cdot (\text{cm}^5)^{-1} \cdot (\text{m}^2)^{-1}]$. Conversely, significant increases were observed in SV $[(5.23 \pm 0.66) \text{ mL vs. } (5.09 \pm 0.88) \text{ mL}]$, cardiac index $[(3.35 \pm 1.17) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot (\text{m}^2)^{-1} \text{ vs. } (3.19 \pm 0.99) \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot (\text{m}^2)^{-1}]$, and SMII $[(0.56 \pm 0.10) \text{ W/m}^2 \text{ vs. } (0.51 \pm 0.14) \text{ W/m}^2]$ ($P < 0.05$). The observation group had a significantly shorter hospital stay than the control group $[(11.53 \pm 3.61) \text{ d vs. } (13.83 \pm 2.56) \text{ d}, P < 0.05]$. The 28 d survival rate was higher in the observation group (100.0% vs. 98.1%), although the difference was not statistically significant ($P > 0.05$). Multiple linear regression analysis revealed that both gestational age and cardiac index were negatively correlated with the duration of hospital stay. Binary logistic regression analysis indicated that birth weight was a significant factor influencing the 28 d survival rate ($OR = 4.600, 95\%CI: 2.465 - 10.654, P = 0.001$). **Conclusion** Non-invasive ultrasonic hemodynamic monitoring can facilitate early identification of hemodynamic alterations in critically ill neonates in plateau area, which could guide treatment and potentially reducing hospital stay.

[Key words] ultrasound; hemodynamic monitoring; plateau; critical illness; neonate; prognosis

随着医学技术的不断进步,新生儿重症监护水平也得到了明显提升。但在高原地区,由于低氧环境和独特的地理条件,容易导致新生儿出现心功能不全、肺动脉高压等并发症,进而增加死亡率,使危重新生儿的管理面临着巨大挑战。因此,如何有效监测和评估高原地区危重新生儿的心功能,成为提高救治成功率的重要研究方向^[1-2]。

无创超声血流动力学监测作为一种安全、快捷、无创的检查手段,近年来在危重新生儿监护中得到了广泛应用。在高原地区,早期识别并纠正心功能不全对改善新生儿预后尤为关键。尽管已有部分研究探讨了无创超声心功能监测在新生儿中的应用^[3-5],但针对高原地区危重新生儿的研究仍然较为有限。因此,本研究旨在评估无创超声血流动力学监测在高原地区危重新生儿中的临床应用价值,为提高高原地区危重新生儿的救治水平提供依据,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2023 年 9 月至 2024 年 12 月昌都市人民医院新生儿重症监护病房收治的 205 例危重新生儿为研究对象。纳入标准:(1)患有新生儿呼吸窘迫综合征(neonatal respiratory distress syndrome, NRDS)、新生儿重症肺炎、新生儿败血症等疾病;(2)所在地区海拔高度 $> 2\,500 \text{ m}$;(3)首次入院并于新生儿重症监护病房治疗。排除标准:(1)已在昌都市人民医院或其他医院多次住院治疗;(2)患有可能影响心功能的先天性畸形或遗传性疾病。根据随机数字表法分为对照组($n = 105$)和观察组($n = 100$),对照组接受传统方法监测,观察组接受无创超声血流动力学监测。两组一般资料比较,差异无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性,见表 1。本研究已通过昌都市人民医院医学伦理委员会批准(审批号:2024010),并在国家全民健康保

障信息平台公开及通过审核,患儿监护人均知情同意。

1.2 方法

1.2.1 危重新生儿评估方式

采用新生儿急性生理学评分-II(score for neonatal acute physiology II, SNAP-II)和新生儿急性生理学评分围生期补充-II(score for neonatal acute physiology, perinatal extension, version II, SNAPPE-II)系统评估。(1)SNAP-II:分 6 个部分,①平均血压, $< 20 \text{ mmHg}$ 计 26 分, $20 \sim < 30 \text{ mmHg}$ 计 9 分, $\geq 30 \text{ mmHg}$ 计 0 分;②体温(肛温), $\geq 38.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 计 18 分, $< 36.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 计 16 分, $36.0 \sim < 38.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 计 0 分;③氧合指数[动脉血氧分压(partial pressure of oxygen in arterial blood, PaO_2)/吸入氧浓度(fraction of inspiration oxygen, FiO_2)], ≤ 2.33 计 26 分, $> 2.33 \sim < 4.56$ 计 9 分, ≥ 4.56 计 0 分;④血清 pH, < 7.0 计 26 分, $7.0 \sim < 7.2$ 计 9 分, $7.2 \sim < 7.4$ 计 4 分, ≥ 7.4 计 0 分;⑤多次(≥ 2 次)惊厥,是计 26 分,否计 0 分;⑥尿量,12 h 平均尿量 $< 1.0 \text{ mL/kg}$ 计 26 分, $1.0 \sim < 2.0 \text{ mL/kg}$ 计 8 分, $\geq 2.0 \text{ mL/kg}$ 计 0 分。SNAP-II 总分为以上 6 项分数之和,范围 0~115 分,通常以 > 20 分作为危重的起点,得分越高表示病情越危重。(2)SNAPPE-II:①出生体重, $< 750 \text{ g}$ 计 26 分, $750 \sim < 1\,000 \text{ g}$ 计 15 分, $1\,000 \sim < 1\,500 \text{ g}$ 计 9 分, $\geq 1\,500 \text{ g}$ 计 0 分;②小于胎龄儿(出生体重低于同胎龄婴儿的第 10 百分位数),是计 12 分,否计 0 分;③ 5 min Apgar 评分, ≤ 3 分计 18 分, $4 \sim 6$ 分计 7 分, ≥ 7 分计 0 分。SNAPPE-II 评分总分为以上 3 项分数之和,范围 0~162 分,通常以 > 20 分作为危重的起点,得分越高表示病情越危重。

1.2.2 治疗监测方式

两组在出生后 24 h 内入住新生儿重症监护病房并接受氧疗、机械通气等。观察组接受床旁无创血流

动力学指标监测,采用超声心输出量测量仪(型号 UCM-II,苏州晨智医疗科技有限公司)进行测定,其工作原理是通过多普勒超声回波频率测得动脉血流速度从而监测主动脉校正流动时间(flow time corrected,FTC)、每搏输出量(stroke volume,SV)、心脏指数、外周血管阻力指数(systemic vascular resistance index,SVRI)和心肌肌力指数(smith-madigan inotropy index,SMII)。患儿平卧位,将探头置胸骨上窝,当探头方向与血流方向相同时信号最强,选取符合标准的超声频谱图形机器自动计算。所有患儿

重复测量 3 次,取平均值。随后根据监测结果和病情变化调整治疗方案,治疗后 4~8 h 再次监测上述指标作为治疗后指标。对照组则接受传统方法监测,通过无创血压测量、毛细血管充盈时间、皮肤颜色、尿量、血气分析等方法来临床评估组织灌注及循环情况。

1.2.3 观察指标

(1)比较观察组治疗前后血流动力学指标(FTC、SVRI、SV、心脏指数、SMII)变化情况;(2)比较两组住院时间及生存情况;(3)分析住院时间及 28 d 生存率的影响因素。

表 1 两组一般资料比较

项目	对照组(<i>n</i> = 105)	观察组(<i>n</i> = 100)	χ^2/t	<i>P</i>
男/女(<i>n</i> / <i>n</i>)	49/56	52/48	0.540	0.507
胎龄($\bar{x} \pm s$, d)	258.86 ± 18.90	260.60 ± 21.20	−0.320	0.408
日龄[<i>M</i> (<i>Q</i> ₁ , <i>Q</i> ₃), d]	0.25(0.10, 0.60)	0.20(0.20, 0.60)	0.420	0.356
出生体重($\bar{x} \pm s$, kg)	2.78 ± 0.65	2.83 ± 0.80	−0.440	0.490
危重评分($\bar{x} \pm s$, 分)	43.53 ± 1.89	44.67 ± 2.09	−0.293	0.530
血红蛋白($\bar{x} \pm s$, g/L)	178.09 ± 19.40	176.09 ± 19.40	0.182	0.650
疾病类型[<i>n</i> (%)]				
NRDS	35(33.33)	38(38.00)	0.722	0.140
新生儿重症肺炎	34(32.38)	29(29.00)	0.319	0.730
新生儿败血症	31(29.52)	33(33.00)	0.323	0.836

1.3 统计学处理

采用 R4.0.4 软件进行数据分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,比较采用 *t* 检验;不符合正态分布的计量资料以 *M*(*Q*₁, *Q*₃)表示,比较采用秩和检验;计数资料以例数或百分比表示,比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法;多元线性回归、二元 logistic 回归分

析影响因素,以 *P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 观察组治疗前后血流动力学比较

与治疗前比较,观察组治疗后 FTC、SVRI 降低,SV、心脏指数、SMII 升高,差异有统计学意义(*P* < 0.05),见表 2。

表 2 观察组治疗前后血流动力学比较($\bar{x} \pm s$)

项目	治疗前(<i>n</i> = 100)	治疗后(<i>n</i> = 100)	<i>t</i>	<i>P</i>
FTC(ms)	414.09 ± 52.20	364.03 ± 47.70	49.029	0.008
SV(mL)	5.09 ± 0.88	5.23 ± 0.66	−4.043	0.021
心脏指数[L · min ^{−1} · (m ²) ^{−1}]	3.19 ± 0.99	3.35 ± 1.17	−3.428	0.016
SVRI[dyn · s · (cm ⁵) ^{−1} · (m ²) ^{−1}]	1 720.00 ± 347.31	1 521.00 ± 186.93	6.216	0.014
SMII(W/m ²)	0.51 ± 0.14	0.56 ± 0.10	−21.602	0.011

2.2 两组住院时间、生存率比较

观察组住院时间较对照组更短,差异有统计学意义(*P* < 0.05)。观察组 28 d 生存率较对照组更高,但差异无统计学意义(*P* > 0.05),见表 3。

2.3 住院时间及 28 d 生存率的影响因素分析

多元线性回归分析结果显示,胎龄、心脏指数均与住院时间呈负相关(*P* < 0.05),见表 4。二元 logistic 回归分析结果显示,体重是 28 d 生存率的影响因

素(*OR* = 4.600, 95% *CI*: 2.465 ~ 10.654, *P* = 0.001)。

表 3 两组住院时间、生存率比较

项目	对照组(<i>n</i> = 105)	观察组(<i>n</i> = 100)	<i>t</i> / χ^2	<i>P</i>
住院时间($\bar{x} \pm s$, d)	13.83 ± 2.56	11.53 ± 3.61	2.540	0.036
28 d 生存率[<i>n</i> (%)]	103(98.1)	100(100.0)	0.498	0.266

表 4 住院时间影响因素的多元线性分析						
项目	B	95%CI	SE	标准化系数	t	P
胎龄	-0.854	-1.070~-0.663	0.100	-0.685	-8.860	0.001
心脏指数	-0.603	-1.019~-0.187	0.210	-0.126	-2.877	0.005

3 讨 论

高原地区新生儿死亡率较平原地区高,考虑与低氧、低压等高原地区特殊的地理环境因素导致新生儿一系列的生理适应性改变有关^[6-8]。通过对基础临床指标、血流动力学参数、住院时间及生存率等影响因素分析,发现高原环境明显增加了新生儿的生理负荷,尤其表现为心脏功能及血流动力学状态的改变。

高原地区大气压及氧分压降低易导致新生儿发生低氧血症,引起全身组织氧供不足,进而影响多器官系统功能,特别是心血管系统。高原低氧低压环境可导致新生儿心脏负荷加重,具体表现在:(1)治疗前 FTC 较高,反映心脏前负荷增加,机体试图通过提高心输出量代偿低氧^[9-10]; (2)两组心脏指数比较,差异有统计学意义($P<0.05$),可能与低氧诱发血管收缩、体循环阻力升高(SVRI 增加)有关,后者增加心脏后负荷,进一步限制心输出量^[11-12]; (3)两组 SMII 比较,差异有统计学意义($P<0.05$),说明高原低氧可能直接影响心肌氧供与收缩功能,若心肌代偿不足易导致心功能减退^[13]。以上结果表明,高原环境下新生儿心脏功能面临更大生理压力,可能延迟康复进程。治疗后两组 FTC、SVRI 较治疗前降低,而 SV、心脏指数、SMII 升高,表明经干预后血流动力学状态有所改善。治疗前 FTC 及 SVRI 水平更高提示高原环境可能增加心脏前、后负荷,而 SV、SMII 水平更低反映心肌收缩力和心输出能力受损,可能与缺氧所致心肌能量代谢障碍有关。SVRI 作为后负荷指标,其增加是导致心脏指数降低的重要机制之一,心肌需克服更大阻力射血,而在心肌收缩力下降的情况下更易发生心功能不全。治疗后上述参数改善,说明干预措施有效减轻了心脏负荷、增强了心肌收缩力,从而改善心输出量。

本研究对照组住院时间长于观察组,可能与低氧低压环境下新生儿心肺适应性受限、更易出现体液失衡和功能失代偿有关^[14-15]。无创超声血流动力学监测可提供包括前负荷、后负荷、心输出量及容量反应性在内的实时血流动力学信息,有助于早期识别循环功能障碍、精准指导治疗,从而缩短住院时间^[16-17]。多元线性回归分析结果显示,胎龄、心脏指数均与住院时间呈负相关($P<0.05$),其中胎龄越小,患儿器官发育越不成熟,尤其是心肺功能越差,难以适应高原低氧环境,因此恢复时间延长,住院时间也相应增加;而心脏指数越低反映了心泵功能受损越重,导致组织低灌注、多器官功能受损,而修复以上功能需要的时间更长。二元 logistic 回归分析结果显示,体重是

28 d 生存率的影响因素($OR=4.600,95\%CI:2.465\sim10.654,P=0.001$),体重越大,生存率越高。这与既往研究^[18-19]结论一致,体重较轻的新生儿器官发育尚不成熟,心肺功能储备有限,应对低氧环境的能力不足,因而死亡风险更高^[20-22]。

综上所述,无创超声血流动力学监测可早期识别高原危重新生儿血流动力学改变,指导治疗以缩短住院时间。特别是在高原低氧易致心肌受损的背景下,为实现心功能精准管理提供了重要参考^[23-25]。今后研究应进一步探讨针对高原危重新生儿的有效干预策略,以优化临床诊疗路径。

参考文献

[1] KALAFAT E,BARRATT I,NAWAZ A,et al. Maternal cardiovascular function and risk of in-trapartum fetal compromise in women undergoing induction of labor: pilot study[J]. Ultra-sound Obstet Gynecol,2020,56(2):233-239.

[2] PERRY H,LEHMANN H,MANTOVANI E,et al. Are maternal hemodynamic indices markers of fetal growth restriction in pregnancies with a small-for-gestational age fetus? [J]. Ul-trasound Obstet Gynecol,2020,55(2):210-216.

[3] DONI D,NUCERA S,RIGOTTI C,et al. Eval-uation of hemodynamics in healthy term neo-nates using ultrasonic cardiac output monitor [J]. Ital J Pediatr,2020,46(1):112.

[4] MORINA N,JOHNSON P A,O'REILLY M,et al. Doppler ultrasound for heart rate assess-ment in a porcine model of neonatal asphyxia [J]. Front Pediatr,2020,8:18.

[5] FRAGA M V,DYSART K C,RINTOUL N,et al. Cardiac output measurement using the ultra-sonic cardiac output monitor:a validation study in newborn infants[J]. Neonatology,2019,116(3):260-268.

[6] SAVIOLI G,CERESA I F,GORI G,et al. Patho-physiology and therapy of high-altitude sickness: practical approach in emergency and critical care [J]. J Clin Med,2022,11(14):3937.

[7] 李凤英. 探讨无创心排量仪动态监测新生儿呼吸窘迫综合征患儿血流动力学指标的临床意义[D]. 泸州:西南医科大学,2022.

[8] 郑曼利. 早产儿败血症休克的血流动力学研究及其对预后的判断[D]. 广州:南方医科大学,2022.

[9] WU P,SHANMINN A,LIANG K,et al. Exhaled nitric oxide is associated with postnatal adaptation

- to hypoxia in Tibetan and non-Tibetan newborn infants[J]. *Acta Paediatr*, 2016, 105(5): 475-482.
- [10] 尚缜邈, 李建玲, 石太英, 等. 足月胎儿主肺动脉超声收缩期加速时间/射血时间比值与新生儿肺成熟度关系的病例对照研究[J]. *中国循证儿科杂志*, 2022, 17(3): 210-214.
- [11] 高帅. 电子心力测量法在合并 PDA 早产儿血流动力学监测中的应用[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2023.
- [12] 董伟. 胸阻抗法无创血流动力学监测评估 PPHN 患儿心功能的临床研究[D]. 济南: 济南大学, 2019.
- [13] 欧芬芬. 无创血流动力学监测在早产儿动脉导管未闭的应用价值研究[D]. 福州: 福建医科大学, 2018.
- [14] WANG Y, WU G, SONG J, et al. Innovative wearable technology for continuous echocardiographic monitoring; first-in-neonate case report [J]. *Front Pediatr*, 2025, 13: 1567386.
- [15] LIHME F, BASIT S, PERSSON LG, et al. Reference ranges for third-trimester maternal cardiovascular function parameters measured in normotensive pregnant women using a non-invasive cardiac output monitor: a study based on data from the prospective PEACH cohort study [J]. *BJOG*, 2024, 131(4): 463-471.
- [16] MONTAGUTI E, YOUSSEF A, CAVALERA M, et al. Maternal hemodynamic assessment by USCOM[®] device in the first trimester of pregnancy [J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2022, 35(25): 5580-5586.
- [17] GAO H, ZHANG T, WANG L, et al. Factors influencing ultrasound cardiac output monitor waveform quality in patients admitted to the emergency intensive care unit [J]. *Heliyon*, 2024, 10(7): e29242.
- [18] KOH W, SCHNEIDER K A, ZANG H, et al. Measurement of cardiac output using an ultrasonic cardiac output monitor (USCOM) in patients with single-ventricle physiology [J]. *Pediatr Cardiol*, 2022, 43(6): 1205-1213.
- [19] ZHU G, ZHANG K, FU Y, et al. Accuracy assessment of noninvasive cardiac output monitoring in the hemodynamic monitoring in critically ill patients [J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(5): 3506-3512.
- [20] 钟隽鏖, 莫镜, 帅春, 等. 功能性超声心动图参数在新生儿脓毒症休克中的临床应用价值 [J]. *中国当代儿科杂志*, 2022, 24(11): 1213-1218.
- [21] CHEUNG C H Y, KHAW M L, TAM V C W, et al. Performance evaluation of a portable bioimpedance cardiac output monitor for measuring hemodynamic changes in athletes during a head-up tilt test [J]. *J Appl Physiol*, 2020, 128(5): 1146-1152.
- [22] PHAN T D, UDA Y, PEYTON P J, et al. Effect of fluid strategy on stroke volume, cardiac output, and fluid responsiveness in adult patients undergoing major abdominal surgery: a sub-study of the restrictive versus Liberal Fluid Therapy in Major Abdominal Surgery (RELIEF) trial [J]. *Br J Anaesth*, 2021, 126(4): 818-825.
- [23] ZOOSMA R S, BOSCH R, ALDERLIESTEN T, et al. Continuous data-driven monitoring in critical congenital heart disease: clinical deterioration model development [J]. *JMIR Cardio*, 2023, 7: e45190.
- [24] SAHNI P V, KRISHNAMURTHY G, SAHNI R. Noninvasive monitoring to demonstrate postoperative differences in regional hemodynamics in newborn infants with d-transposition of the great arteries and hypoplastic left heart syndrome [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2023, 14(2): 194-200.
- [25] SHOSTAK E, NAHUM E, SHOCHAT T, et al. Comparisons of continuous-wave doppler ultrasound monitor and echocardiography in cardiac postoperative pediatric patients [J]. *J Intensive Care Med*, 2022, 37(12): 1634-1640.

(收稿日期: 2025-03-16 修回日期: 2025-07-12)

(编辑: 袁皓伟)