

脓毒性休克新生儿无创血流动力学参数的变化特征

房晓祎¹ 谢锦芝² 张霁润¹ 李管明¹ 杨斯岚² 黄晓玲² 郭继忠² 林霓阳²

¹ 中山大学附属第七医院新生儿科, 广东深圳 518107; ² 汕头大学医学院第一附属医院新生儿科, 广东汕头 515000

通信作者: 郭继忠, Email: judyfangxy@126.com

【摘要】 目的 观察脓毒性休克新生儿无创血流动力学参数的变化特征, 为临床诊疗提供依据。**方法** 采用观察性研究方法, 选择 2017 年 9 月至 2023 年 11 月汕头大学医学院第一附属医院新生儿重症监护病房(NICU)收治的脓毒性休克和脓毒症无休克新生儿作为研究对象, 并依据胎龄分为早产儿(<37 周)和足月儿(≥37 周); 同时选择同期产科出生的健康足月儿及出生后转入 NICU 的血流动力学稳定的早产儿作为对照。脓毒性休克组于治疗前、脓毒症无休克组于诊断脓毒症时、对照组于产科随母出院前或转入 NICU 当天, 采用电子心力学测量法(EC)检测血流动力学参数, 包括心率(HR)、平均动脉压(MAP)、每搏量(SV)、每搏量指数(SVI)、心排血量(CO)、心排血指数(CI)、外周血管阻力(SVR)和外周血管阻力指数(SVRI)。**结果** 最终纳入资料完整且家长同意进行无创血流动力学检测的新生儿 113 例, 其中脓毒性休克组 32 例, 脓毒症无休克组 25 例, 对照组 56 例。脓毒性休克组代偿期 17 例, 失代偿期 15 例; 足月儿 21 例(20 例治愈好转、1 例死亡), 早产儿 11 例(7 例治愈好转、4 例死亡), 病死率为 15.62%(5/32)。脓毒症无休克组足月儿 18 例, 早产儿 7 例, 均治愈好转, 无死亡。对照组足月儿 28 例, 出生后转入 NICU 早产儿 28 例。无创血流动力学参数分析显示, 脓毒性休克组足月儿 SV、SVI、CO、CI 均较脓毒症无休克组和对照组显著下降[SV(mL): 3.52 ± 0.99 比 5.79 ± 1.32 、 5.22 ± 1.02 , SVI(mL/m²): 16.80(15.05, 19.65)比 27.00(22.00, 32.00)、27.00(23.00, 29.75), CO(L/min): 0.52 ± 0.17 比 0.80 ± 0.14 、 0.72 ± 0.12 , CI(mL·s⁻¹·m⁻²): 40.00(36.67, 49.18)比 62.51(56.34, 70.85)、60.01(53.34, 69.68), 均 $P < 0.05$], SVR、SVRI 均较脓毒症无休克组和对照组显著升高[SVR(kPa·s·L⁻¹): 773.46 ± 291.96 比 524.17 ± 84.76 、 549.38 ± 72.36 , SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²): 149.27 ± 51.76 比 108.12 ± 12.66 、 107.81 ± 11.87 , 均 $P < 0.05$]; 脓毒性休克组早产儿 MAP、SV、SVI、CO、CI 均较对照组显著下降[MAP(mmHg, 1 mmHg≈0.133 kPa): 38.55 ± 10.48 比 47.46 ± 2.85 , SV(mL): 2.45(1.36, 3.58)比 3.96(3.56, 4.49), SVI(mL/m²): 17.60(14.20, 25.00)比 25.50(24.00, 29.00), CO(L/min): $0.32(0.24, 0.63)$ 比 $0.56(0.49, 0.63)$, CI(mL·s⁻¹·m⁻²): $40.01(33.34, 53.34)$ 比 $61.68(56.68, 63.35)$, 均 $P < 0.05$], 而 SVR、SVRI 与对照组相近[SVR(kPa·s·L⁻¹): 1082.88 ± 689.39 比 656.63 ± 118.83 , SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²): 126.00 ± 61.50 比 102.37 ± 11.68 , 均 $P > 0.05$]。进一步分析显示, 脓毒性休克组代偿期新生儿 SV、SVI、CI 均较对照组显著降低[SV(mL): 3.60 ± 1.29 比 4.73 ± 1.15 , SVI(mL/m²): 19.20 ± 8.33 比 26.34 ± 3.91 , CI(mL·s⁻¹·m⁻²): 46.51 ± 20.34 比 61.01 ± 7.67 , 均 $P < 0.05$], MAP、SVR、SVRI 均较对照组显著升高[MAP(mmHg): 52.06 ± 8.61 比 48.54 ± 3.21 , SVR(kPa·s·L⁻¹): 874.95 ± 318.70 比 603.01 ± 111.49 , SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²): 165.07 ± 54.90 比 105.09 ± 11.99 , 均 $P < 0.05$]; 脓毒性休克组失代偿期新生儿 MAP、SV、SVI、CO、CI 均较对照组显著降低[MAP(mmHg): 35.13 ± 6.08 比 48.54 ± 3.21 , SV(mL): 2.89 ± 1.17 比 4.73 ± 1.15 , SVI(mL/m²): 18.50 ± 4.99 比 26.34 ± 3.91 , CO(L/min): 0.41 ± 0.19 比 0.65 ± 0.15 , CI(mL·s⁻¹·m⁻²): 43.34 ± 14.17 比 61.01 ± 7.67 , 均 $P < 0.05$], 而 SVR、SVRI 与对照组相近[SVR(kPa·s·L⁻¹): 885.49 ± 628.04 比 603.01 ± 111.49 , SVRI(kPa·s·L⁻¹·m⁻²): 114.29 ± 43.54 比 105.09 ± 11.99 , 均 $P > 0.05$]。**结论** 脓毒性休克足月儿血流动力学类型为低排高阻型, 脓毒性休克早产儿为低排正常阻力型, 代偿期为低排高阻型, 失代偿期为低排正常阻力型; 无创血流动力学监测可协助识别新生儿脓毒性休克, 为临床诊疗提供依据。

【关键词】 脓毒性休克; 脓毒症; 血流动力学; 无创; 新生儿

基金项目: 广东省深圳市科技计划项目(JCYJ20190809145409829)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240312-00213

Characteristics of changes in non-invasive hemodynamic parameters in neonates with septic shock

Fang Xiaoyi¹, Xie Jinzhi², Zhang Airun¹, Li Guanming¹, Yang Silan², Huang Xiaoling², Guo Jizhong², Lin Niyang²

¹Department of Neonatology, the Seventh Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Shenzhen 518107, Guangdong, China; ²Department of Neonatology, the First Affiliated Hospital, Shantou University Medical College, Shantou 515000, Guangdong, China

Corresponding author: Guo Jizhong, Email: judyfangxy@126.com

【Abstract】 Objective To observe the characteristics of changes in non-invasive hemodynamic parameters in neonates with septic shock so as to provide clinical reference for diagnosis and treatment. **Methods** A observational study was conducted. The neonates with sepsis complicated with septic shock or not admitted to neonatal intensive care

unit (NICU) of the First Affiliated Hospital of Shantou University Medical College were enrolled as the study subjects, who were divided into preterm infant (< 37 weeks) and full-term infant ($\geq$ 37 weeks) according to the gestational age. Healthy full-term infants and hemodynamically stable preterm infants transferring to NICU after birth were enrolled as controls. Electronic cardiometry (EC) was used to measure hemodynamic parameters, including heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), stroke volume (SV), stroke volume index (SVI), cardiac output (CO), cardiac index (CI), systemic vascular resistance (SVR) and systemic vascular resistance index (SVRI), before treatment in the septic shock group, at the time of diagnosis of sepsis in the sepsis without shock group, and before the discharge from the obstetric department or on the day of transferring to NICU in the control group. **Results** Finally, 113 neonates with complete data and parental consent for non-invasive hemodynamic monitoring were enrolled, including 32 cases in the septic shock group, 25 cases in the sepsis without shock group and 56 cases in the control group. In the septic shock group, there were 17 cases at the compensated stage and 15 cases at the decompensated stage. There were 21 full-term infants (20 cured or improved and 1 died) and 11 premature infants (7 cured or improved and 4 died), with the mortality of 15.62% (5/32). There were 18 full-term infants and 7 premature infants in the sepsis without shock group and all cured or improved without death. The control group included 28 full-term infants and 28 premature infants transferring to NICU after birth. Non-invasive hemodynamic parameter analysis showed that SV, SVI, CO and CI of full-term infants in the septic shock group were significantly lower than those in the sepsis without shock group and control group [SV (mL): 3.52 ± 0.99 vs. 5.79 ± 1.32 , 5.22 ± 1.02 , SVI (mL/m^2): 16.80 (15.05, 19.65) vs. 27.00 (22.00, 32.00), 27.00 (23.00, 29.75), CO (L/min): 0.52 ± 0.17 vs. 0.80 ± 0.14 , 0.72 ± 0.12 , CI ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 40.00 (36.67, 49.18) vs. 62.51 (56.34, 70.85), 60.01 (53.34, 69.68), all $P < 0.05$], while SVR and SVRI were significantly higher than those in the sepsis without shock group and control group [SVR ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$): 773.46 ± 291.96 vs. 524.17 ± 84.76 , 549.38 ± 72.36 , SVRI ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 149.27 ± 51.76 vs. 108.12 ± 12.66 , 107.81 ± 11.87 , all $P < 0.05$]. MAP, SV, SVI, CO and CI of preterm infants in the septic shock group were significantly lower than those in the control group [MAP (mmHg, 1 mmHg $\approx$ 0.133 kPa): 38.55 ± 10.48 vs. 47.46 ± 2.85 , SV (mL): 2.45 (1.36, 3.58) vs. 3.96 (3.56, 4.49), SVI (mL/m^2): 17.60 (14.20, 25.00) vs. 25.50 (24.00, 29.00), CO (L/min): 0.32 (0.24, 0.63) vs. 0.56 (0.49, 0.63), CI ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 40.01 (33.34, 53.34) vs. 61.68 (56.68, 63.35), all $P < 0.05$], while SVR and SVRI were similar to the control group [SVR ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$): $1\ 082.88 \pm 689.39$ vs. 656.63 ± 118.83 , SVRI ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 126.00 ± 61.50 vs. 102.37 ± 11.68 , both $P > 0.05$]. Further analysis showed that SV, SVI and CI of neonates at the compensation stage in the septic shock group were significantly lower than those in the control group [SV (mL): 3.60 ± 1.29 vs. 4.73 ± 1.15 , SVI (mL/m^2): 19.20 ± 8.33 vs. 26.34 ± 3.91 , CI ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 46.51 ± 20.34 vs. 61.01 ± 7.67 , all $P < 0.05$], while MAP, SVR and SVRI were significantly higher than those in the control group [MAP (mmHg): 52.06 ± 8.61 vs. 48.54 ± 3.21 , SVR ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$): 874.95 ± 318.70 vs. 603.01 ± 111.49 , SVRI ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 165.07 ± 54.90 vs. 105.09 ± 11.99 , all $P < 0.05$]; MAP, SV, SVI, CO and CI of neonates at the decompensated stage in the septic shock group were significantly lower than those in the control group [MAP (mmHg): 35.13 ± 6.08 vs. 48.54 ± 3.21 , SV (mL): 2.89 ± 1.17 vs. 4.73 ± 1.15 , SVI (mL/m^2): 18.50 ± 4.99 vs. 26.34 ± 3.91 , CO (L/min): 0.41 ± 0.19 vs. 0.65 ± 0.15 , CI ($\text{mL} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 43.34 ± 14.17 vs. 61.01 ± 7.67 , all $P < 0.05$], while SVR and SVRI were similar to the control group [SVR ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1}$): 885.49 ± 628.04 vs. 603.01 ± 111.49 , SVRI ($\text{kPa} \cdot \text{s} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$): 114.29 ± 43.54 vs. 105.09 ± 11.99 , both $P > 0.05$]. **Conclusions** Full-term infant with septic shock exhibit a low cardiac output, high vascular resistance hemodynamic pattern, while preterm infant with septic shock show low cardiac output and normal vascular resistance. At the compensated stage the hemodynamic change is low output and high resistance type, while at the decompensated stage it is low output and normal resistance type. Non-invasive hemodynamic monitoring can assist in the identification of neonatal septic shock and provide basis for clinical diagnosis and treatment.

【Key words】 Septic shock; Sepsis; Hemodynamics; Non-invasive; Newborn

Fund program: Shenzhen Science and Technology Plan Project in Guangdong Province (JCYJ20190809145409829)

DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20240312-00213

新生儿脓毒性休克是指脓毒症严重时造成的心血管功能障碍及组织低灌注^[1-2],如未及时识别及治疗,病情迅速发展,会危及生命。国内关于脓毒症早产儿的大样本研究显示,脓毒症发病率为 0.97%,病死率为 22.6%^[3];意大利研究显示,新生儿重症监护病房 (neonatal intensive care unit, NICU) 中脓毒性休克发病率为 1.3%,病死率为 40%^[4];美国研究表明,新生儿脓毒症发病率约 5.16%,病死率高达 36%^[5]。目前医师识别与评估新生儿脓毒性休克的方法主要根据临床症状及体征表现,同时结合血气分析及乳酸结果,但因早期临床表现不典型,故增加了快速识别的难度。因此,血流动力学监测协助诊断成为诊

治脓毒性休克的一项选择^[1,6-8]。电子心力测量法 (electronic cardiometry, EC) 是一种以胸阻抗为原理的技术,可用于监测新生儿甚至早产儿血流动力学参数。本研究以脓毒性休克、脓毒症无休克及血流动力学稳定的新生儿作为研究对象,采用 EC 检测血流动力学参数,观察其在新生儿脓毒性休克中的变化特征,以期为临床应用提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象: 采用观察性研究方法,选择 2017 年 9 月至 2023 年 11 月汕头大学医学院第一附属医院 NICU 收治的脓毒性休克及脓毒症无休克新生儿作为研究对象,并依据胎龄分为早产儿 (<37 周) 和足

月儿(≥ 37 周);同时选择同期产科出生的健康足月儿及出生后转入 NICU 的血流动力学稳定的早产儿作为对照。本研究符合医学伦理学标准,并通过汕头大学医学院第一附属医院伦理委员会临床科研审查(审批号:B-2021-101),所有治疗及检测均获得受试者法定监护人的知情同意。

1.1.1 纳入标准:① 脓毒症及脓毒性休克均符合相关诊断标准^[1,9-10];② 对照组为血流动力学稳定^[11]的新生儿,或使用补液量为生理需要量且未使用抗菌药物,同时未使用液体复苏和其他血管活性药物的早产儿;③ 家长同意进行无创血流动力学检测。

1.1.2 排除标准:① 合并失血性休克、神经源性休克等其他类型休克;② 合并快速补液禁忌证,包括有复杂先天性心脏病、严重心律失常、心力衰竭、容量负荷超载、严重营养不良的证据;③ 严重畸形、紫绀型及复杂型先天性心脏病;④ 资料不完整。

1.2 无创血流动力学检测

1.2.1 检测时间点:脓毒性休克组在治疗前进行测定,脓毒症无休克组在诊断脓毒症时进行测定,对照组在产科随母出院前或转入 NICU 当天进行测定。

1.2.2 检测方法:EC 检测由经过正规培训的同一操作者操作。新生儿测量时采取仰卧位,适当安抚,以避免哭闹及活动的干扰。清洁新生儿监测皮肤,在前额、左侧颈部、剑突水平与左侧腋窝中线交点、左侧大腿外侧 4 个位置分别放置 4 个标准电极并连接德国 ICON 无创心排血量测量仪,检测血流动力学参数,包括体表面积(body surface area, BSA)、心率(heart rate, HR)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、中心静脉压(central venous pressure, CVP)、每搏量(stroke volume, SV)、每搏量指数(stroke volume index, SVI; $SVI=SV/BSA$)、心排血量(cardiac output, CO; $CO=HR \times SV$)、心排血量指数(cardiac index, CI; $CI=CO/BSA$)、外周血管阻力[systemic vascular resistance, SVR; $SVR=80 \times (MAP-CVP)/CO$, CVP 默认为 3 mmHg(1 mmHg ≈ 0.133 kPa)]及外周血管阻力指数[systemic vascular resistance index, SVRI; $SVRI=80 \times (MAP-CVP)/CI$]。各参数的平均值设置为 60 个心动周期。

1.3 统计学方法:应用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计数资料以率(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x} \pm s$)或中位数(四分位数)[$M(Q_L, Q_U)$]表示,多组间比较采用单因素方差分析或 Kuskal-Wallis H 检验,两组间比较采用独

立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。相关性分析采用 Pearson 或 Spearman 相关法及多元线性逐步回归法。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入情况:研究期间共入选 134 例新生儿,最终纳入资料完整且家长同意进行无创血流动力学检测的新生儿 113 例,其中脓毒性休克组 32 例,脓毒症无休克组 25 例,对照组 56 例。脓毒性休克组中,代偿期 17 例,失代偿期 15 例;足月儿 21 例(20 例治愈好转、1 例死亡),早产儿 11 例(7 例治愈好转、4 例死亡),病死率为 15.62%。脓毒症无休克组中,足月儿 18 例,早产儿 7 例,均治愈好转,无死亡。对照组足月儿 28 例,出生后转入 NICU 早产儿 28 例。

2.2 对照组新生儿一般资料及血流动力学参数分析:在一般资料方面,对照组早产儿胎龄、体质量、身长、BSA 均较足月儿更低(均 $P<0.01$);足月儿与早产儿性别、日龄差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。

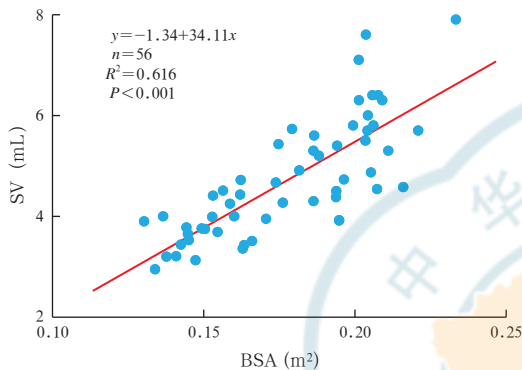
在血流动力学参数方面,对照组早产儿 MAP、SV、CO 均显著低于足月儿,而 SVR 显著高于足月儿(均 $P<0.05$);早产儿与足月儿 HR、SVI、CI、SVRI 差异均无统计学意义(均 $P>0.05$;表 1)。

表 1 健康足月新生儿与出生后转入 NICU 早产儿一般资料及血流动力学参数比较

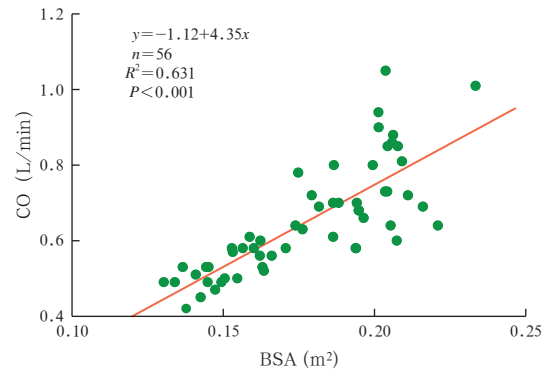
指标	足月儿 ($n=28$)	早产儿 ($n=28$)	$\chi^2/t/U$ 值	P 值
一般资料				
性别[例(%)]			0.278	0.592
男性	14(50.00)	16(57.14)		
女性	14(50.00)	12(42.86)		
胎龄(周, $\bar{x} \pm s$)	39.00 $\pm$ 1.32	34.89 $\pm$ 1.55	10.651	<0.001
日龄[d, $M(Q_L, Q_U)$]	4.00(4.00, 5.00)	4.00(3.00, 4.00)	287.000	0.067
体质量(kg, $\bar{x} \pm s$)	3.10 $\pm$ 0.44	2.26 $\pm$ 0.45	6.894	<0.001
身长(cm, $\bar{x} \pm s$)	49.93 $\pm$ 1.92	44.79 $\pm$ 2.84	7.914	<0.001
BSA(m^2 , $\bar{x} \pm s$)	0.20 $\pm$ 0.02	0.16 $\pm$ 0.02	7.578	<0.001
血流动力学参数				
HR[次/min, $M(Q_L, Q_U)$]	138.50 (131.00, 149.75)	135.00 (131.25, 149.50)	381.000	0.857
MAP(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	49.61 $\pm$ 3.24	47.46 $\pm$ 2.85	2.631	0.011
SV(mL , $\bar{x} \pm s$)	5.22 $\pm$ 1.02	4.23 $\pm$ 1.09	3.495	<0.001
SVI(mL/m^2 , $\bar{x} \pm s$)	26.36 $\pm$ 3.90	26.33 $\pm$ 4.00	0.034	0.973
CO(L/min , $\bar{x} \pm s$)	0.72 $\pm$ 0.12	0.59 $\pm$ 0.14	3.687	0.001
CI [$mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$, $M(Q_L, Q_U)$]	60.01 (53.34, 69.68)	61.68 (56.68, 63.35)	413.000	0.730
SVR($kPa \cdot s \cdot L^{-1}$, $\bar{x} \pm s$)	549.38 $\pm$ 72.36	656.63 $\pm$ 118.83	-4.079	<0.001
SVRI($kPa \cdot s^{-1} \cdot L^{-1} \cdot m^{-2}$, $\bar{x} \pm s$)	107.81 $\pm$ 11.87	102.37 $\pm$ 11.68	1.728	0.090

注: NICU 为新生儿重症监护病房, BSA 为体表面积, HR 为心率, MAP 为平均动脉压, SV 为每搏量, SVI 为每搏量指数, CO 为心排血量, CI 为心排血量指数, SVR 为外周血管阻力, SVRI 为外周血管阻力指数; 1 mmHg ≈ 0.133 kPa

相关性分析显示,对照组新生儿 SV 与体质量($r=0.756, P<0.001$)、身长($r=0.766, P<0.001$)、BSA($r=0.785, P<0.001$)均呈显著正相关;进一步多元线性逐步回归分析显示,SV 与 BSA 相关性最好($R^2=0.616$,调整后 $R^2=0.609, P<0.001$;图 1)。CO 与体质量($r=0.756, P<0.001$)、身长($r=0.784, P<0.001$)、BSA($r=0.794, P<0.001$)均呈显著正相关;进一步多元线性逐步回归分析显示,CO 与 BSA 相关性最好($R^2=0.631$,调整后 $R^2=0.624, P<0.001$;图 2)。



注: SV 为每搏量,BSA 为体表面积
图 1 血流动力学稳定新生儿 SV 与 BSA 的多元线性逐步回归分析



注: CO 为心排量,BSA 为体表面积

图 2 血流动力学稳定新生儿 CO 与 BSA 的多元线性逐步回归分析

2.3.2 早产儿(表 3):在一般资料方面,3 组早产儿性别、日龄差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);脓毒症无休克组早产儿胎龄、体质量、身长、BSA 较对照组和脓毒性休克组偏低(均 $P<0.01$)。

在血流动力学参数方面,3 组早产儿 HR、SVRI 差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);脓毒症无休克组早产儿 SV、CO、CI 均较对照组显著下降,而 SVR 则较对照组显著升高(均 $P<0.05$);脓毒性休克组早产儿 MAP、SV、SVI、CO、CI 均较对照组显著降低(均 $P<0.05$)。提示脓毒性休克早产儿血流动力学

2.3 3 组新生儿一般资料及血流动力学参数分析

2.3.1 足月儿(表 2):在一般资料方面,3 组足月儿性别、胎龄、体质量、身长差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);脓毒症无休克组足月儿的日龄、BSA 较对照组和脓毒性休克组偏大(均 $P<0.05$)。

在血流动力学参数方面,3 组足月儿 HR、MAP 差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);脓毒性休克组足月儿的 SV、SVI、CO、CI 均较脓毒症无休克组及对照组显著下降,SVR、SVRI 均较脓毒症无休克组及对照组显著升高(均 $P<0.05$);而脓毒症无休克组与对照组足月儿血流动力学参数差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。提示脓毒性休克足月儿存在血流动力学异常。

表 2 血流动力学稳定对照组、脓毒症无休克组与脓毒性休克组足月儿一般资料及血流动力学参数比较

指标	对照组 (n=28)	脓毒症无休克组 (n=18)	脓毒性休克组 (n=21)	$\chi^2/H/F$ 值	P 值
一般资料					
性别[例(%)]				0.822	0.663
男性	14(50.00)	9(50.00)	13(61.90)		
女性	14(50.00)	9(50.00)	8(38.10)		
胎龄[周, $M(Q_L, Q_U)$]	38.56(38.00, 40.00)	39.14(38.50, 40.85)	39.14(38.00, 40.57)	1.147	0.564
日龄[d, $M(Q_L, Q_U)$]	4.00(4.00, 5.00)	7.50(2.75, 16.50)	1.00(1.00, 6.00) ^a	9.061	0.011
体质量[kg, $M(Q_L, Q_U)$]	3.20(3.00, 3.30)	3.40(2.88, 3.65)	2.90(2.73, 3.31)	4.834	0.089
身长[cm, $M(Q_L, Q_U)$]	50.00(48.00, 51.75)	51.00(49.00, 54.25)	49.50(48.00, 51.00)	3.806	0.149
BSA($m^2, \bar{x} \pm s$)	0.20 $\pm$ 0.02	0.21 $\pm$ 0.02	0.19 $\pm$ 0.02 ^a	3.475	0.037
血流动力学参数					
HR(次/min, $\bar{x} \pm s$)	140.04 $\pm$ 12.16	144.67 $\pm$ 11.37	148.52 $\pm$ 19.57	2.028	0.140
MAP(mmHg, $\bar{x} \pm s$)	49.61 $\pm$ 3.24	51.50 $\pm$ 3.13	47.05 $\pm$ 10.87	2.232	0.116
SV(mL, $\bar{x} \pm s$)	5.22 $\pm$ 1.02	5.79 $\pm$ 1.32	3.52 $\pm$ 0.99 ^{ab}	23.397	<0.001
SVI [$mL/m^2, M(Q_L, Q_U)$]	27.00(23.00, 29.75)	27.00(22.00, 32.00)	16.80(15.05, 19.65) ^{ab}	28.737	<0.001
CO(L/min, $\bar{x} \pm s$)	0.72 $\pm$ 0.12	0.80 $\pm$ 0.14	0.52 $\pm$ 0.17 ^{ab}	19.928	<0.001
CI [$mL \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}, M(Q_L, Q_U)$]	60.01(53.34, 69.68)	62.51(56.34, 70.85)	40.00(36.67, 49.18) ^{ab}	29.917	<0.001
SVR(kPa $\cdot s \cdot L^{-1} \cdot m^{-2}, \bar{x} \pm s$)	549.38 $\pm$ 72.36	524.17 $\pm$ 84.76	773.46 $\pm$ 291.96 ^{ab}	12.953	<0.001
SVRI(kPa $\cdot s \cdot L^{-1} \cdot m^{-2}, \bar{x} \pm s$)	107.81 $\pm$ 11.87	108.12 $\pm$ 12.66	149.27 $\pm$ 51.76 ^{ab}	13.116	<0.001

注: BSA 为体表面积,HR 为心率,MAP 为平均动脉压,SV 为每搏量,SVI 为每搏量指数,CO 为心排量,CI 为心排指数,SVR 为外周血管阻力,SVRI 为外周血管阻力指数;1 mmHg $\approx$ 0.133 kPa;与脓毒症无休克组比较,^a $P<0.05$;与对照组比较,^b $P<0.05$

参数 SV、SVI、CO、CI 均下降,而 SVR、SVRI 则无显著变化。

2.4 脓毒性休克代偿期与失代偿期新生儿的一般资料及血流动力学参数分析(表 4):在一般资料方面,脓毒性休克组代偿期和失代偿期新生儿性别、体质量、身长和 BSA 与对照组新生儿差异均无统计学意义(均 $P>0.05$);脓毒性休克组失代偿期新生儿胎龄较对照组和代偿期新生儿偏小,代偿期新生儿日龄较对照组和失代偿期新生儿偏小(均 $P<0.05$)。

在血流动力学参数方面,脓毒性休克组代偿期和失代偿期新生儿 HR 与对照组新生儿差异无统计学意义($P>0.05$)。脓毒性休克组代偿期新生儿 CO 较对照组新生儿略有降低($P>0.05$),而 SV、SVI、CI 均较对照组新生儿显著降低,MAP、SVR、SVRI 则均较对照组显著升高(均 $P<0.05$);脓毒性休克组失代偿期新生儿 MAP、SV、SVI、CO、CI 较对照组新生儿显著降低(均 $P<0.05$),而 SVR、SVRI 与对照组新生儿差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。提示脓毒性休克代偿期新生儿存在 SV、SVI、CI 均下降,而 SVR、SVRI 均升高;失代偿期新生儿则存在 SV、SVI、CO、CI 下降,但 SVR、SVRI 均无显著变化。

3 讨论

EC 是一种可以应用于儿童和新生儿血流动力学检测的技术,具有准确、安全、连续、可重复的特点^[12],在基础实验^[13]及成人临床研究^[14]中被证实

表 3 血流动力学稳定对照组、脓毒症无休克组与脓毒性休克组早产儿一般资料及血流动力学参数比较

指标	对照组 (n=28)	脓毒症无休克组 (n=7)	脓毒性休克组 (n=11)	$\chi^2/H/F$ 值	P 值
一般资料					
性别[例(%)]				2.124	0.347
男性	16(57.14)	6(85.71)	8(72.73)		
女性	12(42.86)	1(14.29)	3(27.27)		
胎龄[周, $M(Q_L, Q_U)$]	35.07(33.43, 36.11)	31.57(30.28, 32.85) ^a	31.71(28.28, 36.00) ^a	12.044	0.002
日龄[d, $M(Q_L, Q_U)$]	3.00(3.00, 4.00)	4.00(1.00, 5.00)	5.00(1.00, 18.00)	0.767	0.681
体质量[kg, $M(Q_L, Q_U)$]	2.10(1.93, 2.48)	1.40(0.90, 1.80) ^a	1.80(0.98, 2.40)	11.768	0.003
身长[cm, $\bar{x}\pm s$]	44.79 $\pm$ 2.84	38.86 $\pm$ 3.39 ^a	40.09 $\pm$ 7.45	7.653	0.001
BSA(m ² , $\bar{x}\pm s$)	0.16 $\pm$ 0.02	0.12 $\pm$ 0.02 ^a	0.13 $\pm$ 0.04	9.066	0.001
血流动力学参数					
HR[次/min, $M(Q_L, Q_U)$]	135.00 (131.25, 149.50)	138.00 (131.00, 146.00)	146.00 (135.00, 176.00)	1.562	0.458
MAP(mmHg, $\bar{x}\pm s$)	47.46 $\pm$ 2.85	45.14 $\pm$ 3.53	38.55 $\pm$ 10.48 ^a	9.703	<0.001
SV[mL, $M(Q_L, Q_U)$]	3.96(3.56, 4.49)	2.64(2.18, 3.41) ^a	2.45(1.36, 3.58) ^a	17.179	<0.001
SVI[mL/m ² , $M(Q_L, Q_U)$]	25.50(24.00, 29.00)	25.00(23.00, 26.00)	17.60(14.20, 25.00) ^a	8.927	0.012
CO[L/min, $M(Q_L, Q_U)$]	0.56(0.49, 0.63)	0.36(0.30, 0.46) ^a	0.32(0.24, 0.63) ^a	15.212	<0.001
CI[mL $\cdot$ s ⁻¹ $\cdot$ m ⁻² , $M(Q_L, Q_U)$]	61.68(56.68, 63.35)	55.01(53.34, 56.68) ^a	40.01(33.34, 53.34) ^a	13.586	0.001
SVR(kPa $\cdot$ s $\cdot$ L ⁻¹ , $\bar{x}\pm s$)	656.63 $\pm$ 118.83	966.51 $\pm$ 191.93 ^a	1 082.88 $\pm$ 689.39	6.618	0.003
SVRI(kPa $\cdot$ s $\cdot$ L ⁻¹ $\cdot$ m ⁻² , $\bar{x}\pm s$)	102.37 $\pm$ 11.68	108.33 $\pm$ 10.71	126.00 $\pm$ 61.50	2.249	0.118

注:BSA 为体表面积,HR 为心率,MAP 为平均动脉压,SV 为每搏量,SVI 为每搏量指数,CO 为心排量,CI 为心排指数,SVR 为外周血管阻力,SVRI 为外周血管阻力指数;1 mmHg $\approx$ 0.133 kPa;与对照组比较,^a $P<0.05$

表 4 血流动力学稳定对照组与不同分期脓毒性休克组新生儿一般资料及血流动力学参数比较

指标	对照组 (n=56)	脓毒性休克组 代偿期(n=17)	脓毒性休克组 失代偿期(n=15)	$\chi^2/F/H$ 值	P 值
一般资料					
性别[例(%)]				2.695	0.260
男性	28(50.00)	10(58.82)	11(73.33)		
女性	28(50.00)	7(41.18)	4(26.67)		
胎龄[周, $\bar{x}\pm s$]	36.94 $\pm$ 2.52	38.54 $\pm$ 1.70 ^a	34.42 $\pm$ 5.58 ^b	6.998	0.002
日龄[d, $M(Q_L, Q_U)$]	4.00(3.00, 4.00)	1.00(1.00, 7.00) ^a	1.00(5.00, 16.00) ^b	6.810	0.033
体质量[kg, $M(Q_L, Q_U)$]	2.65(2.10, 3.20)	2.80(2.70, 3.30)	2.70(0.99, 2.90)	5.468	0.065
身长[cm, $M(Q_L, Q_U)$]	48.00(44.25, 50.00)	49.00(46.50, 50.50)	48.00(36.00, 49.00)	4.290	0.117
BSA[m ² , $M(Q_L, Q_U)$]	0.18(0.15, 0.20)	0.19(0.18, 0.21)	0.19(0.10, 0.19)	5.612	0.060
血流动力学参数($\bar{x}\pm s$)					
HR(次/min)	140.32 $\pm$ 12.28	148.00 $\pm$ 21.81	144.80 $\pm$ 26.21	1.430	0.245
MAP(mmHg)	48.54 $\pm$ 3.21	52.06 $\pm$ 8.61 ^a	35.13 $\pm$ 6.08 ^{ab}	50.188	<0.001
SV(mL)	4.73 $\pm$ 1.15	3.60 $\pm$ 1.29 ^a	2.89 $\pm$ 1.17 ^a	16.839	<0.001
SVI(mL/m ²)	26.34 $\pm$ 3.91	19.20 $\pm$ 8.33 ^a	18.50 $\pm$ 4.99 ^a	21.050	<0.001
CO(mL $\cdot$ s ⁻¹ $\cdot$ m ⁻²)	0.65 $\pm$ 0.15	0.53 $\pm$ 0.21	0.41 $\pm$ 0.19 ^a	13.446	<0.001
CI(mL $\cdot$ s ⁻¹ $\cdot$ m ⁻²)	61.01 $\pm$ 7.67	46.51 $\pm$ 20.34 ^a	43.34 $\pm$ 14.17 ^a	17.685	<0.001
SVR(kPa $\cdot$ s $\cdot$ L ⁻¹)	603.01 $\pm$ 111.49	874.95 $\pm$ 318.70 ^a	885.49 $\pm$ 628.04	8.478	<0.001
SVRI(kPa $\cdot$ s $\cdot$ L ⁻¹ $\cdot$ m ⁻²)	105.09 $\pm$ 11.99	165.07 $\pm$ 54.90 ^a	114.29 $\pm$ 43.54 ^b	24.268	<0.001

注:BSA 为体表面积,HR 为心率,MAP 为平均动脉压,SV 为每搏量,SVI 为每搏量指数,CO 为心排量,CI 为心排指数,SVR 为外周血管阻力,SVRI 为外周血管阻力指数;1 mmHg $\approx$ 0.133 kPa;与对照组比较,^a $P<0.05$;与脓毒性休克组代偿期比较,^b $P<0.05$

与有创的热稀释心排量测量法有良好的相关性;与超声心动图比较,EC 应用于儿童^[15]、新生儿^[16]、早产儿^[17-18]的血流动力学检测结果更加可靠。

本研究显示,在血流动力学稳定的早产儿中,血流动力学参数 SV、CO 均较足月儿显著降低,SVR 较足月儿显著升高,而 SVI、CI、SVRI 差异无统计学意义;相关性分析显示,血流动力学稳定新生儿 SV、CO 均与 BSA 相关性最好,且呈线性正相关,与其他研究结果相符^[11, 19],早产儿 CO 较足月儿差也与使用其他仪器测量的结果相符^[20]。在本研究中,单位 BSA 的 CO、SVR 可分别用 CI、SVRI 反映,使用 CI、SVRI 等与 BSA 相关的指标可减弱不同体型对新生儿血流动力学参数的影响,从而更好地进行不同个体间的比较。

有研究表明,脓毒症新生儿炎症因子水平异常升高,有助于评估感染的严重程度^[21]。本研究显示,脓毒症无休克组足月儿血流动力学参数与对照组差异均无统计学意义,少数早产儿血流动力学参数略有波动,说明脓毒症无休克新生儿存在炎症介质异常及潜在休克危险,但此时感染引起的炎症介质水平升高尚未使血流动力学发生改变,也未出现循环障碍。

脓毒性休克可分为冷休克和热休克。前期研究表明,单纯根据临床表现,医师无法准确判断脓毒性休克类型^[22]。脓毒性休克时,由于细菌毒素的存在,炎症介质(包括细胞因子、白细胞介素等)大量释放及内皮细胞损伤等一系列生理病理变化会增加血管通透性,导致液体渗漏和低血容量,同时也可能导致心肌功能抑制^[23]。由于脓毒性休克在不同生理病理状态下对前负荷、后负荷及心肌收缩力的影响不同,因此,脓毒性休克时的血流动力学状态可表现出多种类型。

本研究显示,与对照组比较,脓毒性休克组足月儿血流动力学类型表现为低排高阻型,考虑为脓毒性休克引起心肌抑制,从而导致 CO 下降。由于 $\text{血压} = \text{CO} \times \text{SVR}$,因此这种由脓毒性休克引起的低 CO 状态会触发 SVR 反应性升高,减少皮肤等非重要器官血供,从而维持足够的血压,进而维持重要器官的良好灌注。低排高阻型休克为儿童脓毒性休克最常见的冷休克类型,但国内也有研究显示脓毒性休克新生儿表现为低排低阻型^[24],可能与该研究入组样本多为失代偿期相关。早产儿心血管系统发育不成熟,CO 较足月儿差,脓毒性休克的临床表现较足月儿更加不典型,极易在短时间内出现病情恶化。本研究中脓毒性休克早产儿血流动力学类型表现为低排正常阻力型,其他关于脓毒性休克早产儿超声

心动图监测的研究也显示为低排型^[25]。由于 $\text{CO} = \text{HR} \times \text{SV}$,因此,在高 HR 基础上,早产儿无法通过持续增加 HR 来代偿升高的 CO,同时早产儿心室体积小、顺应性低,心肌无法通过提高 SV 来补偿 CO^[26]。本研究中存在部分早产儿表现为低血压、低 SVR 等情况,说明在炎症介质爆发式释放及缩血管物质影响等病理生理状态下,早产儿难以通过加强外周血管收缩来维持正常血压、保持代偿状态。国外一项病例报告应用 EC 检测 1 例脓毒性休克早产儿血流动力学参数,在超声心动图提示下,血流动力学类型为低排低阻型,且为液体难治性脓毒性休克^[27]。因此,早产儿更需要早期识别脓毒性休克并及时纠正。另外,脓毒性休克的基础实验^[28]、成人临床研究^[29]及新生儿临床研究^[30-31]中均表现为高排低阻型,也有研究证实了 EC 在儿童脓毒性休克早期识别中的应用价值^[32]。上述研究成果都表明,新生儿脓毒性休克具有多种血流动力学表现类型,需及时密切监测,给予相应救治方案,避免病情继续进展。

随着病情进展,新生儿脓毒性休克可由代偿期向失代偿期转变。本研究中,脓毒性休克代偿期新生儿 MAP 高于对照组,且血流动力学类型为低排高阻型。说明在代偿期,如果心室功能良好,由于代偿作用,通过升高 HR、SVRI 可维持正常甚至略高血压,保证重要器官灌注;反之,如果心室功能降低,血压正常且血管阻力高,则意味着 CI 降低,逐渐转向休克失代偿期^[6]。脓毒性休克患者出现低血压,提示可能已发展到多器官功能损害阶段,病死率较高^[2]。失代偿期主要表现为 CO 升高或下降、SVR 降低、组织器官低灌注。本研究显示,脓毒性休克失代偿期新生儿 MAP 显著低于对照组,CI 亦显著下降,而 SVRI 无显著变化,可能与样本量较少有关。新生儿脓毒性休克代偿期与失代偿期的血流动力学表现不同,说明在脓毒性休克各个生理病理状态下可表现出不同的血流动力学状况,因此临床上应及时密切监测新生儿血流动力学状态变化,从而指导治疗,避免发展为失代偿期。

与超声法相比,EC 仪器安装使用更方便快捷,且能够实现连续监测,可根据新生儿体格、血压显示血流动力学正常参考值范围。本研究的创新点在于应用 EC 检测不同体型新生儿血流动力学参数,可以通过 CI、SVRI 等与 BSA 相关的指标更好地进行比较评估。目前 EC 在新生儿领域特别是早产儿中应用的研究并不多;同时,更多无创血流动力学研

究集中在先天性心脏病术后监测及对新生儿液体疗法评估,而针对脓毒性休克识别及评估的研究较少。本研究结果显示,无创血流动力学监测可反映脓毒性休克新生儿的血流动力学状态。

综上所述,脓毒性休克足月儿血流动力学类型为低排高阻型,脓毒性休克早产儿为低排正常阻力型,代偿期为低排高阻型,失代偿期为低排正常阻力型。因此,无创血流动力学监测可快速识别新生儿脓毒性休克,协助诊断及分期,指导治疗。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中华医学会儿科学分会急救学组, 中华医学会急诊医学分会儿科学组, 中国医师协会儿童重症医师分会. 儿童脓毒性休克(感染性休克)诊治专家共识(2015 版)[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2015, 30 (22): 1687-1691. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2015.22.003.
- [2] 崔雪薇, 富建华. 新生儿脓毒症及脓毒性休克诊疗策略[J]. 中国小儿急救医学, 2017, 24 (5): 321-325. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2017.05.001.
- [3] REIN-EPIQ Study Group. Early-onset sepsis among preterm neonates in China, 2015 to 2018 [J]. *Pediatr Infect Dis J*, 2019, 38 (12): 1236-1241. DOI: 10.1097/INF.0000000000002492.
- [4] Pugni L, Ronchi A, Bizzarri B, et al. Exchange transfusion in the treatment of neonatal septic shock: a ten-year experience in a neonatal intensive care unit [J]. *Int J Mol Sci*, 2016, 17 (5): 695. DOI: 10.3390/ijms17050695.
- [5] Shane AL, Stoll BJ. Neonatal sepsis: progress towards improved outcomes [J]. *J Infect*, 2014, 68 Suppl 1: S24-S32. DOI: 10.1016/j.jinf.2013.09.011.
- [6] Davis AL, Carcillo JA, Aneja RK, et al. American College of Critical Care Medicine clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock [J]. *Crit Care Med*, 2017, 45 (6): 1061-1093. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002425. Erratum in: *Crit Care Med*, 2017, 45 (9): e993. DOI: 10.1097/CCM.0000000000002573.
- [7] Children's Surviving Sepsis Campaign International Guidelines for the Management of Septic Shock and Sepsis-Associated Organ Dysfunction in Children Taskforce. Perspective of the Surviving Sepsis Campaign on the management of pediatric sepsis in the era of coronavirus disease 2019 [J]. *Pediatr Crit Care Med*, 2020, 21 (11): e1031-e1037. DOI: 10.1097/PCC.0000000000002553.
- [8] Weiss SL, Peters MJ, Alhazzani W, et al. Surviving Sepsis Campaign international guidelines for the management of septic shock and sepsis-associated organ dysfunction in children [J]. *Intensive Care Med*, 2020, 46 (Suppl 1): 10-67. DOI: 10.1007/s00134-019-05878-6.
- [9] 中华医学会儿科学分会新生儿学组, 中国医师协会新生儿科医师分会感染专业委员会. 新生儿败血症诊断及治疗专家共识(2019 年版)[J]. 中华儿科杂志, 2019, 57 (4): 252-257. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2019.04.005.
- [10] 邵肖梅, 叶鸿瑁, 丘小汕. 实用新生儿学[M]. 5 版. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [11] Hsu KH, Wu TW, Wang YC, et al. Hemodynamic reference for neonates of different age and weight: a pilot study with electrical cardiometry [J]. *J Perinatol*, 2016, 36 (6): 481-485. DOI: 10.1038/jp.2016.2.
- [12] Cappelleri A, Bussmann N, Harvey S, et al. Myocardial function in late preterm infants during the transitional period: comprehensive appraisal with deformation mechanics and non-invasive cardiac output monitoring [J]. *Cardiol Young*, 2020, 30 (2): 249-255. DOI: 10.1017/S1047951119003020.
- [13] McCarthy KN, Pavel A, Garvey AA, et al. Feasibility of non-invasive cardiac output monitoring at birth using electrical bioimpedance in term infants [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2021, 106 (4): 431-434. DOI: 10.1136/archdischild-2019-318244.
- [14] Wang DJ, Lee JS, Chou AH, et al. Non-invasive cardiac output measurement with electrical velocimetry in patients undergoing liver transplantation: comparison of an invasive method with pulmonary thermodilution [J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18 (1): 138. DOI: 10.1186/s12871-018-0600-y.
- [15] Rauch R, Welisch E, Lansdell N, et al. Non-invasive measurement of cardiac output in obese children and adolescents: comparison of electrical cardiometry and transthoracic Doppler echocardiography [J]. *J Clin Monit Comput*, 2013, 27 (2): 187-193. DOI: 10.1007/s10877-012-9412-7.
- [16] Grollmuss O, Demontoux S, Capderou A, et al. Electrical velocimetry as a tool for measuring cardiac output in small infants after heart surgery [J]. *Intensive Care Med*, 2012, 38 (6): 1032-1039. DOI: 10.1007/s00134-012-2530-3.
- [17] Torigoe T, Sato S, Nagayama Y, et al. Influence of patent ductus arteriosus and ventilators on electrical velocimetry for measuring cardiac output in very-low/low birth weight infants [J]. *J Perinatol*, 2015, 35 (7): 485-489. DOI: 10.1038/jp.2014.245.
- [18] Hsu KH, Wu TW, Wu IH, et al. Electrical cardiometry to monitor cardiac output in preterm infants with patent ductus arteriosus: a comparison with echocardiography [J]. *Neonatology*, 2017, 112 (3): 231-237. DOI: 10.1159/000475774.
- [19] 郭少青, 何必子, 刘登礼, 等. 早产儿与足月儿血流动力学指标对比分析[J]. 中华新生儿科杂志(中英文), 2019, 34 (2): 125-128. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2019.02.009.
- [20] Ciccone MM, Scicchitano P, Zito A, et al. Different functional cardiac characteristics observed in term/preterm neonates by echocardiography and tissue Doppler imaging [J]. *Early Hum Dev*, 2011, 87 (8): 555-558. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2011.04.012.
- [21] 杨志明, 黄瑞文, 廖镇宇. 降钙素原、超敏 C-反应蛋白、白细胞计数对新生儿脓毒症早期诊断的临床意义[J]. 实用检验医师杂志, 2020, 12 (4): 217-220. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7151.2020.04.008.
- [22] Razavi A, Newth CJL, Khemani RG, et al. Cardiac output and systemic vascular resistance: clinical assessment compared with a noninvasive objective measurement in children with shock [J]. *J Crit Care*, 2017, 39: 6-10. DOI: 10.1016/j.jcrc.2016.12.018.
- [23] Fathi EM, Narchi H, Chedid F. Noninvasive hemodynamic monitoring of septic shock in children [J]. *World J Methodol*, 2018, 8 (1): 1-8. DOI: 10.5662/wjm.v8.i1.1.
- [24] 袁文浩, 曾凌空, 蔡保欢, 等. 血流动力学监测预测新生儿脓毒症休克液体复苏反应性的价值[J]. 中华新生儿科杂志(中英文), 2019, 34 (2): 103-108. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2019.02.005.
- [25] Zhong JJ, Shuai C, Wang Y, et al. Baseline values of left ventricular systolic function in preterm infants with septic shock: a prospective observational study [J]. *Front Pediatr*, 2022, 10: 839057. DOI: 10.3389/fped.2022.839057.
- [26] Spaggiari V, Passini E, Crestani S, et al. Neonatal septic shock, a focus on first line interventions [J]. *Acta Biomed*, 2022, 93 (3): e2022141. DOI: 10.23750/abm.v93i3.12577.
- [27] Gatelli IF, Vitelli O, Fossati M, et al. Neonatal septic shock and hemodynamic monitoring in preterm neonates in an NICU: added value of electrical cardiometry in real-time tailoring of management and therapeutic strategies [J]. *Am J Perinatol*, 2022, 39 (13): 1401-1404. DOI: 10.1055/s-0041-1726123.
- [28] 王海霞, 牟洪宾, 方时书, 等. 基于 PiCCO 指导不同晶体液复苏对脓毒性休克肾功能的影响[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34 (4): 362-366. DOI: 10.3760/cma.j.cn121430-20201124-00726.
- [29] 李永波, 谢建军, 梅啸, 等. 生脉注射液对不同休克患者血流动力学的影响及意义[J]. 中国中西医结合急救杂志, 2011, 18 (1): 21-24. DOI: 10.3969/j.issn.1008-9691.2011.01.006.
- [30] 洪文超, 裴刚, 龚小慧, 等. 床旁无创血流动力学监测在新生儿感染性休克诊治中的应用价值[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2018, 33 (18): 1403-1406. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.18.009.
- [31] 张莘琳, 郑兴惠. 连续无创血流动力学监测在新生儿感染性休克早期液体复苏中的应用效果观察[J]. 山东医药, 2018, 58 (42): 52-54. DOI: 10.3969/j.issn.1002-266X.2018.42.015.
- [32] Awadhare P, Patel R, McCallin T, et al. Non-invasive cardiac output monitoring and assessment of fluid responsiveness in children with shock in the emergency department [J]. *Front Pediatr*, 2022, 10: 857106. DOI: 10.3389/fped.2022.857106.

(收稿日期: 2024-03-12)
(责任编辑: 孙茜 李银平)

